

On Birinci Baskıdan Çeviri

Genel Kimya

Raymond Chang

Williams Koleji

Kenneth A. Goldsby

Florida State Üniversitesi

Çeviri Editörleri

Prof. Dr. Recai İNAM • Prof. Dr. Serpil AKSOY

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi



PALME YAYINCILIK
ANKARA, 2014

PALME YAYINLARI : 897

GENEL KİMYA, 11. Baskıdan Çeviri

Yazarları : Raymond Chang • Kenneth A. Goldsby
Çeviri Editörleri : Prof. Dr. Recai İNAM • Prof. Dr. Serpil AKSOY
Yayın Koordinatörü : H. İbrahim Somyürek
Yayına Hazırlama : PALME Dizgi-Grafik Tasarım: Volkan Öztürk
ISBN : 978-605-355-281-9
Yayıncı Sertifika No : 14142
Palme Yayıncılık © 2014
Baskı : Ayrıntı Basım Yayım (0312 394 55 90)
Basımevi Sertifika No : 13987

Original Baskısına Katkıda Bulunanlar

Vice President, Editor-in-Chief: *Marty Lange*
Vice President, EDP: *Kimberly Meriwether David*
Senior Director of Development: *Kristine Tibbetts*
Publisher: *Ryan Blankenship*
Executive Editor: *Jeff Huettner*
Senior Developmental Editor: *Shirley R. Oberbroeckling*
Executive Marketing Manager: *Tamara L. Hodge*
Senior Project Manager: *Sandy Wille*
Senior Buyer: *Kara Kudronowicz*

Lead Media Project Manager: *Judi David*
Senior Designer: *David W. Hash*
Cover/Interior Designer: *Jamie E. O'Neal*
Cover Image: *The Structure of the First Coordination Shell in Liquid Water, Hirohito Ogasawara, Ph.D.*
Senior Photo Research Coordinator: *John C. Leland*
Photo Research: *Toni Michaels/PhotoFind, LLC*
Compositor: *Aptara[®], Inc.*

Kitabın Özgün Adı : **Chemistry**, Eleventh Edition
Yazarlar : **Raymond Chang • Kenneth A. Goldsby**
Yayıncı Firma : Published by McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020
Telif : Copyright © 2013, by McGraw-Hill Companies. All rights reserved.
Orijinal ISBN : 978-0-07-340268-0
Türkçe Basım : This translation published under license by PALME YAYINCILIK, Copyright © 2014. All rights reserved.
Türkçe baskısı, PALME YAYINCILIK tarafından yayımlanmıştır. Tüm telif hakları saklıdır, © 2014

Published by McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written consent of The McGraw-Hill Companies, Inc., including, but not limited to, in any network or other electronic storage or transmission, or broadcast for distance learning.

Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Palme Yayıncılık Ltd. Şti.'ne aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni olmadan elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.



PALME

YAYIN, DAĞITIM, PAZARLAMA, İÇ VE DIŞ TİCARET LTD. ŞTİ.
Merkez: A. Adnan Saygun Cad. No: 10/A Sıhhiye-ANKARA
Tel: 0.312-433 37 57 • Fax: 0.312-433 52 72
www.palmeyayinevi.com e-mail: bilgi@palmeyayinevi.com

Ankara Şubesi : Olgunlar Sok. No: 4/5 Bakanlıklar/ANKARA	Tel: 0.312 417 95 28 Faks: 0.312 419 69 64
İzmir Şubesi : Kazım Dirik Mah. Ankara Cad. No: 259/C Bornova/İZMİR	Tel: 0.232 343 10 77 Faks: 0.232 343 10 78

Yazarlar Hakkında

Raymond Chang Hong Kong'da doğmuş, Şangay (Çin) ve Hong Kong'da büyümüştür. Kimya dalındaki lisans derecesini (B.Sc.) Londra Üniversitesi'nden (İngiltere), doktora derecesini (Ph.D.) ise Yale Üniversitesi'nden almıştır. City University of New York'da doktora sonrası araştırmalarını yaptıktan sonra Williams Kolej'de Kimya bölümü öğretim üyesi olarak 1968'den beri çalışmaktadır.

Profesör Chang, Amerikan Kimya Topluluğu Sınav Komitesi, Ulusal Kimya Olimpiyatları Sınav Komitesi ve diploma tescil denetleme komitelerinde hizmet vermiştir. R. Chang "The Chemical Educator" dergisinin editörüdür. Fizikokimya, endüstriyel kimya ve doğal bilimler alanlarında kitapları vardır. Aynı zamanda Çin dili, resimli çocuk kitapları ve gençler için yazılan bir romanın yazarlarındandır.

Profesör Chang'ın hobileri arasında balıçlık, tenis ve masa tenisi oynama, müzik ve keman çalma yer almaktadır.



Ken Goldsby Florida'da, Pensacola'da doğmuş ve büyümüştür. Kimya ve matematik dalındaki lisans derecesini (B.Sc.) Rice Üniversitesi'nden almıştır. Chapel Hill'deki North Carolina Üniversitesi'nden doktora derecesini (Ph.D.) aldıktan sonra, Ken Goldsby, Ohio State Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmalarını gerçekleştirmiştir.

1986 yılında Florida State Üniversitesi, Kimya ve Biyokimya Bölümü'ne katıldıktan sonra Kimya Öğretimine Yönelik "Cottrell Family Professorship" dahil olmak üzere öğretim ve danışmanlık ödülleri almıştır. 1998 yılında Florida State Üniversitesi'nde Seçkin Öğretim Üyesi seçilmiştir.

Ken Goldsby boş zamanlarında ailesi ile birlikte dışarıda olmaktan, özellikle sahilde birlikte vakit geçirmekten hoşlanır.



ÇEVİRİ EDITÖRLERİ

Prof. Dr. Recai İNAM • Prof. Dr. Serpil AKSOY

Gazi Üniversitesi

ÇEVİRİ KURULU

Prof. Dr. Abdullah MENZEK

Atatürk Üniv. Fen-Ed. Fak.

Prof. Dr. Adalet TUNÇELİ

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Ali DİŞLİ

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Hacettepe Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. H. İbrahim ÜNAL

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Hülya YEKELER

Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. İsmail KIRAN

Eskişehir Osmangazi Üniv. Fen ve Edebiyat Fak.

Prof. Dr. M. Levent AKSU

Gazi Üniversitesi, Eğitim Fak.

Prof. Dr. Mehlika PULAT

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Mehmet AKÇAY

Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Mehmet ÇOŞKUN

Fırat Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Mehmet ERBİL

Çukurova Üniv. Fen ve Edebiyat Fak.

Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ

Selçuk Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Nazan DEMİR

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Orhan ACAR

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Oya ŞANLI

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Perihan GÜRKAN

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Pervin CİVCİR

Ankara Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Semra BİLGİÇ

Ankara Üniversitesi, Fen Fak.

Prof. Dr. Sol ÇELEBİ

Dokuz Eylül Üniv. Emekli Öğr. Üyesi

Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN

Anadolu Üniv. Müh. MİM. Fak.

Doç. Dr. Eda Ayşe AKSOY

Hacettepe Üniv. Eczacılık Fak.

Doç. Dr. Hayrettin TÜMTÜRK

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Doç. Dr. Pınar ÇAMURLU

Akdeniz Üniversitesi, Fen Fak.

Yard. Doç. Dr. Hülya SİLAH

Bilecik Şeyh Edebali Üniv. Fen-Ed. Fak.

Dr. Ebru Aktan

Gazi Üniversitesi, Fen Fak.

Çeviri Editörleri Hakkında

Prof. Dr. Recai İNAM 1963 Zonguldak doğumludur. Lisans öğrenimini 1987'de Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde, Yüksek Lisansını 1993'de, Doktorasını 1997'de Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünde tamamlamıştır. 1987-1994 yıllarında orta öğretim kurumlarında kimya öğretmenliği yaptıktan sonra 1994-2000 yılları arasında Gazi Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. Aynı bölümde 2000 - 2001 yıllarında Yard. Doç. Dr., 2001-2008 yıllarında Doç. Dr., 2008 yılından beri Profesör olarak görev yapmaktadır. 2004 yılında Michigan State Üniversitesinde araştırma ve inceleme yapmak üzere görevlendirilmiştir. 2010-2013 yılları arasında "Gazi University Journal of Science" dergisinin editörlüğünü yapmıştır. Prof. Dr. Recai İNAM'ın uluslararası indekslerde taranan dergilerde çok sayıda makalesi ve yurt içi-yurt dışı kongrelerde sunulan bildirisi bulunmaktadır. Çalışmaları genel olarak elektrokimyasal tekniklerle eser elementlerin ve pestisitlerin tayinlerine yönelik yöntem geliştirme üzerinedir. Chang-Genel Kimya, Petrucci-Genel Kimya ve Craine & Hard-Organik Kimya ders kitaplarının çeviri editörlerindendir. Ayrıca bazı ders kitaplarının da çevirmenlerindendir. Boş zamanlarında halk müziği dinlemeyi ve söylemeyi, doğa gezisini ve arkadaşları ile birlikte vakit geçirmeyi sevmektedir.



Prof. Dr. Serpil AKSOY 1947 Diyarbakır doğumludur. Lisansını 1971'de, Yüksek Lisansını 1973'de Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde, Doktorasını Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünde tamamlamıştır. 1971-1981 yıllarında Yükseliş Müh. MİM. Yük. Okulunda ve Ankara Devlet Müh. ve MİM. Akademisinde Asistan. 1981-1982 yıllarında Öğretim Görevlisi, 1982-1990 yıllarında Gazi Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Yard. Doç. Dr., 1983-1990 yıllarında Doç. Dr. ve 1990-2014 yıllarında Profesör olarak görev yapmıştır. Çalışmaları genel olarak polimer sentezleri ve uygulamaları üzerinedir. Chang-Genel Kimya ve Petrucci-Genel Kimya ders kitaplarının çeviri editörlerindendir. Boş zamanlarında çiçekler ve bahçe ile ilgilenmeyi, seyahat etmeyi sevmektedir.



Çeviri Editörlerinin Önsözü

Türkçe ders kitabı eksikliği öğrencilerimizin Üniversitelerde karşılaştığı en önemli problemlerden biri olmuştur. Son yıllarda birçok alanda yeni ders kitabı çevirileri yapılmakla birlikte, bunun yinede yeterli olduğunu söylemek zordur. Bilim ve teknolojiye gelişmeler baş döndürücü bir hızla devam etmekte ve buna bağlı olarak ders kitapları da sürekli olarak güncellenmektedir. Diğer yandan, eğitim bilimciler sürekli yeni öğretim yöntem ve teknikleri geliştirmektedirler. Üniversitelerimizde öğrencilerimize çok sayıda güncel ders kitaplarının sunulması ve yeterli bilgi kaynağının sağlanması, onlara bilimdeki son gelişmeleri yakından izleme olanağı verecektir.

Orijinal adı “Chemistry” olan ve Prof. Raymond CHANG ile Ken GOLDSBY tarafından yazılan bu kitapta kavram ve ilkelerle sağlam bir temel oluşturularak, günlük hayatımızda kimyanın önemli üzerinde durulmuştur. Bu yeni baskıda, en son buluş ve kavramlar yer almakta, konular görsel ve güncel örneklerle pekiştirilmektedir. Öğrencilerimizin genel kimyayı en iyi şekilde kavrayabilmeleri için konular çok sayıda güncel örnek ve problemlerle desteklenmiştir. Yorumlama, modelleme ve tahmin adı verilen yeni problem türleri, dünyadaki gerçek problemlerinin çözümünü öğrencilere öğretmek için tasarlanmış, uygun varsayımlara dayalı tahminleri içermektedir. “Kimya İş Başında” adlı okuma parçaları, kimyanın çözüm getirdiği birçok ilginç olaylara yer vermektedir. Bu kitaptaki hedef, gereksiz fazla bilgiler ile öğrencilerin aşırı yüklenmesini önlemek, soyut kavramları somut hale getirerek zor görünen kavramları kolaylaştırmak ve öğrencileri bir sonraki öğrenme seviyesine hazırlamaktır.

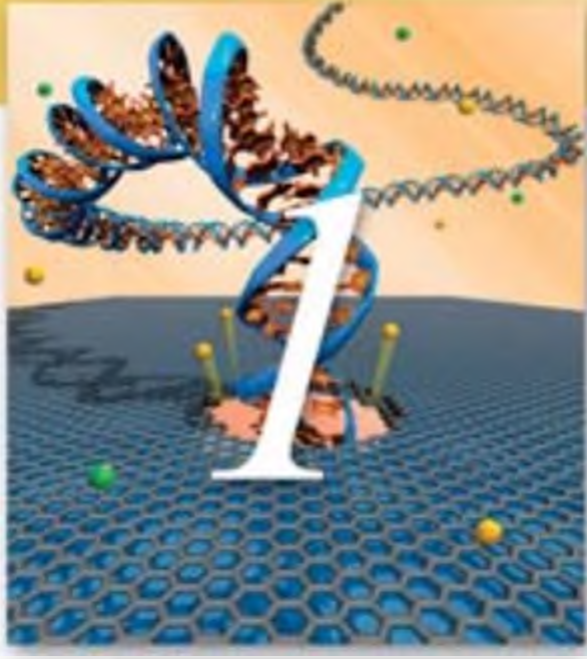
Genel Kimya dersleri kimya bölümleri dışında Fizik, Biyoloji, Sağlık Bilimleri, Mühendislik, Çevre ve Ziraat alanlarında öğrenim gören öğrencilerin de temel derslerindendir. Bu alanların çoğunda öğrencilerin üst sınıflarda daha ileri bir kimya dersi görme olanakları yoktur ve kimya bilgileri bu düzeyde kalmak durumundadır. Bu nedenle, elinizdeki bu kitap, kimyanın temel ilkeleri hakkında tüm alt anabilim dallarını da kapsayacak şekilde, asıl alanı kimyanın dışında olan öğrencilerin bile kolayca anlayabileceği basit ve anlaşılır bir Türkçe ile yazılmıştır. Kitabın tamamı 25 bölümden oluşmaktadır. Türkçe’ye çevirisinde değişik üniversitelerden çok sayıda öğretim üyesi özveriyle çalışmalarıyla, geleceğimizin güvencesi olan üniversite gençliğimize ve dolayısıyla ülkemize hizmet etme yolunda hiçbir fedakarlıktan kaçınmamışlardır. Sabır ve fedakarlık gerektiren kitap yazımı ve çevirilerinin yaygınlaşması, üniversitelerimizdeki öğretimin daha üst düzeye çıkarılmasına önemli bir katkı sağlanmış olacaktır.

Son olarak, bu kitabın yayınlanmasında hiçbir özveriden kaçınmayan çeviri kurulu üyelerimize, Palme Yayınevine, kitabın dizgi ve düzenlenmesindeki titiz çalışmalarından dolayı Volkan Öztürk’e takdir ve teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışmamızda eksiklerimizin olabileceği düşüncesiyle eleştirilerini bizden esirgemeyecek olan öğretim üyelerimize ve öğrencilerimize, kitabın sonraki baskılarında bu eksiklerimizi gidermek için yapacakları katkılardan dolayı şimdiden teşekkür ederiz.

Prof. Dr. **Recai iNAM** • Prof. Dr. **Serpil AKSOY**

1	Kimya: Değişimin İncelenmesi	1
2	Atomlar, Moleküller ve İyonlar	38
3	Kimyasal Tepkimelerde Kütle İlişkileri	75
4	Sulu Çözelti Tepkimeleri	118
5	Gazlar	172
6	Termokimya	230
7	Kuantum Kuramı ve Atomların Elektron Yapısı	276
8	Elementlerin Periyodik İlişkileri	328
9	Kimyasal Bağlanma I: Temel Kavramlar	370
10	Kimyasal Bağlanma II: Molekül Geometrisi ve Atom Orbitallerinin Melezleşmesi	414
11	Moleküllerarası Kuvvetler, Sıvılar ve Katılar	467
12	Çözeltilerin Fiziksel Özellikleri	520
13	Kimyasal Kinetik	564
14	Kimyasal Denge	623
15	Asitler ve Bazlar	668
16	Asit-Baz ve Çözünürlük Dengeleri	722
17	Entropi, Serbest Enerji ve Denge	778
18	Elektrokimya	814
19	Çekirdek Kimyası	864
20	Atmosfer Kimyası	902
21	Metalürji ve Metal Kimyası	932
22	Ametaller ve Bileşikleri	958
23	Geçiş Metalleri Kimyası ve Koordinasyon Bileşikleri	996
24	Organik Kimya	1027
25	Sentetik ve Doğal Organik Polimerler	1060
<i>Ek 1</i>	Element İsimlerinin Türeyişi	E-1
<i>Ek 2</i>	Gaz Sabiti Birimleri	E-7
<i>Ek 3</i>	1 atm ve 25°C’de Seçilmiş Termodinamik Veriler	E-8
<i>Ek 4</i>	Matematiksel İşlemler	E-13

<i>Uygulamaların Listesi</i>	xix
<i>Animasyonların Listesi</i>	xx
<i>Önsöz</i>	xxi
<i>Öğrenme Basamaklarının Kurulması</i>	xxviii
<i>Öğrenciye Notlar</i>	xxxiii



Kimya: Değişimin İncelenmesi 1

1.1	Kimya: Yirmi Birinci Yüzyılın Bilimi	2
1.2	Kimyanın Çalışma Alanı	2
1.3	Bilimsel Yöntem	4
	<i>KİMYA İş Başında</i>	
	İlk Helyum ve Büyük Patlama Kuramı	6
1.4	Maddenin Sınıflandırılması	6
1.5	Maddenin Üç Hali	9
1.6	Maddenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
1.7	Ölçme	12
	<i>KİMYA İş Başında</i>	
	Birimlerin Önemi	17
1.8	Sayıların Kullanımı	18
1.9	Problem Çözümünde Boyut Analizi	23
1.10	Dünyadaki Gerçek Problemlerin Çözümü: Bilgi, Varsayımlar ve Basitleştirmeler	27
	<i>Anahtar Eşitlikler</i>	28
	<i>Olguların ve Kavramların Özeti</i>	29
	<i>Anahtar Kelimeler</i>	29
	<i>Sorular ve Problemler</i>	29
	<i>KİMYANIN Gizemi</i>	
	Dinozorların Yok Oluşu	36



Atomlar, Moleküller ve İyonlar 38

- 2.1** Atom Kuramı 39
- 2.2** Atomun Yapısı 40
- 2.3** Atom Numarası, Kütle Numarası ve İzotoplar 46
- 2.4** Periyodik Çizelge 48
- KİMYA İş Başında**
Elementlerin Dünyada ve Canlı Sistemlerde Dağılımı 49
- 2.5** Moleküller ve İyonlar 50
- 2.6** Kimyasal Formüller 52
- 2.7** Bileşiklerin Adlandırılması 56
- 2.8** Organik Bileşiklere Giriş 65
- Anahtar Eşitlikler 67*
- Olguların ve Kavramların Özeti 67*
- Anahtar Kelimeler 67*
- Sorular ve Problemler 68*



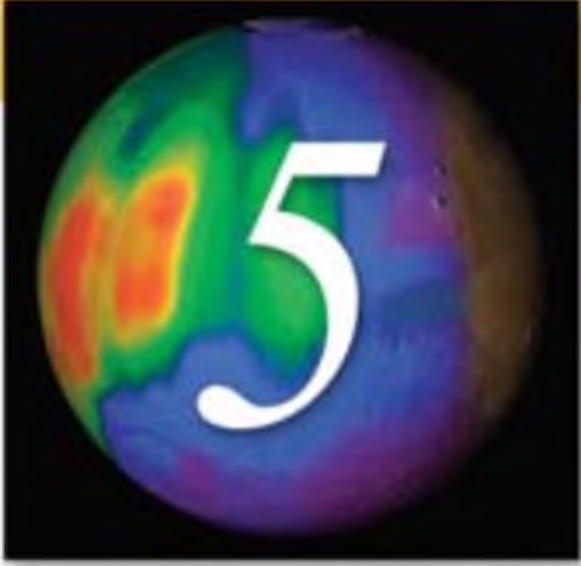
Kimyasal Tepkimelerde Kütle İlişkileri 75

- 3.1** Atom Kütleleri 76
- 3.2** Avogadro Sayısı ve Elementlerin Mol Kütleleri 77
- 3.3** Molekül Kütleleri 81
- 3.4** Kütle Spektrometresi 84
- 3.5** Bileşiklerin Yüzde Bileşimi 85
- 3.6** Kaba Formüllerin Deneysel Belirlenmesi 88
- 3.7** Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Denklemler 90
- 3.8** Tepkenler ve Ürünlerin Miktarları 95
- 3.9** Sınırlayıcı Tepkenler 99
- 3.10** Tepkime Verimi 103
- KİMYA İş Başında**
Kimyasal Gübreler 105
- Anahtar Eşitlikler 106*
- Olguların ve Kavramların Özeti 106*
- Anahtar Kelimeler 107*
- Sorular ve Problemler 107*



Sulu Çözelti Tepkimeleri 118

- 4.1** Sulu Çözeltilerin Genel Özellikleri 119
- 4.2** Çökme Tepkimeleri 121
 - KİMYA İş Başında*
 - İstenmeyen Çökme Tepkimeleri 126
- 4.3** Asit-Baz Tepkimeleri 126
- 4.4** İndirgenme-Yükseltgenme Tepkimeleri 132
 - KİMYA İş Başında*
 - Nefes Analiz Cihazı (Alkolmetre) 144
- 4.5** Çözelti Değişimleri 145
- 4.6** Gravimetrik Analiz 149
- 4.7** Asit-Baz Titrasyonları 151
- 4.8** Redoks Titrasyonları 155
 - KİMYA İş Başında*
 - Denizden Metal Eldesi 156
 - Anahtar Eşitlikler 157*
 - Olguların ve Kavramların Özeti 157*
 - Anahtar Kelimeler 158*
 - Sorular ve Problemler 158*
 - KİMYANIN Gizemi*
 - Napolyon'u Kim Öldürdü? 170



Gazlar 172

- 5.1** Gaz Halinde Bulunan Maddeler 173
- 5.2** Bir Gazın Basıncı 174
- 5.3** Gaz Yasaları 178
- 5.4** İdeal Gaz Denklemi 184
- 5.5** Gaz Stokiyometrisi 193
- 5.6** Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası 195
 - KİMYA İş Başında*
 - Dalgıçlık ve Gaz Yasaları 200
- 5.7** Gazların Kinetik Molekül Kuramı 202
 - KİMYA İş Başında*
 - Süper Soğuk Atomlar 208
- 5.8** İdeal Davranıştan Sapma 210
 - Anahtar Eşitlikler 213*
 - Olguların ve Kavramların Özeti 214*
 - Anahtar Kelimeler 214*
 - Sorular ve Problemler 215*
 - KİMYANIN Gizemi*
 - Oksijen Azalması 228



Termokimya 230

- 6.1** Enerjinin Doğası ve Enerji Çeşitleri 231
- 6.2** Kimyasal Tepkimelerde Enerji Değişimleri 232
- 6.3** Termodinamiğe Giriş 234
 - KİMYA İş Başında*
 - Yapay Kar ve Bisiklet Lastiğinin Şişirilmesi 240
- 6.4** Kimyasal Tepkimelerde Entalpi 240
- 6.5** Kalorimetri 246
 - KİMYA İş Başında*
 - Beyaz Yağ Hücreleri, Kahverengi Yağ Hücreleri ve Obezite İçin Potansiyel Tedavi 250
- 6.6** Standart Oluşum Entalpisi ve Tepkime 254
 - KİMYA İş Başında*
 - Bombardıman Böceği Nasıl Kendisini Savunur 257
- 6.7** Çözelti Isısı ve Seyrelme 260
 - Anahtar Eşitlikler* 263
 - Öğuların ve Kavramların Özeti* 263
 - Anahtar Kelimeler* 263
 - Sorular ve Problemler* 264
 - KİMYANIN Gizemi*
 - İnfilak Eden Lastik 274



Kuantum Kuramı ve Atomların Elektron Yapısı 276

- 7.1** Klasik Fizikten Kuantum Kuramına 277
- 7.2** Fotoelektrik Olay 281
- 7.3** Bohr Hidrojen Atomu Kuramı 284
- 7.4** Elektronun İkili Doğası 289
 - KİMYA İş Başında*
 - Lazer—Görkemli Işık 290
- 7.5** Kuantum Mekanikliği 293
 - KİMYA İş Başında*
 - Elektron Mikroskobu 294
- 7.6** Kuantum Sayıları 297
- 7.7** Atom Orbitalleri 299
- 7.8** Elektron Dağılımı 303

7.9 Yerleştirme İlkesi 310

KİMYA İş Başında

Kuantum Noktalar 314

Anahtar İşitlikler 315

Olguların ve Kavramların Özeti 316

Anahtar Kelimeler 317

Sorular ve Problemler 317

KİMYANIN Gizemi

Helyumun Keşfi, Koronyumun Doğuşu ve Çöküşü 326



Elementlerin Periyodik İlişkileri 328

8.1 Periyodik Çizelgenin Gelişmesi 329

8.2 Elementlerin Periyodik Sınıflandırılması 331

8.3 Fiziksel Özelliklerdeki Periyodik Değişiklikler 335

8.4 İyonlaşma Enerjisi 342

KİMYA İş Başında

Üçüncü Sıvı Element? 343

8.5 Elektron İlgisi 347

8.6 Baş Grup Elementlerinin Kimyasal Özelliklerindeki Değişim 349

KİMYA İş Başında

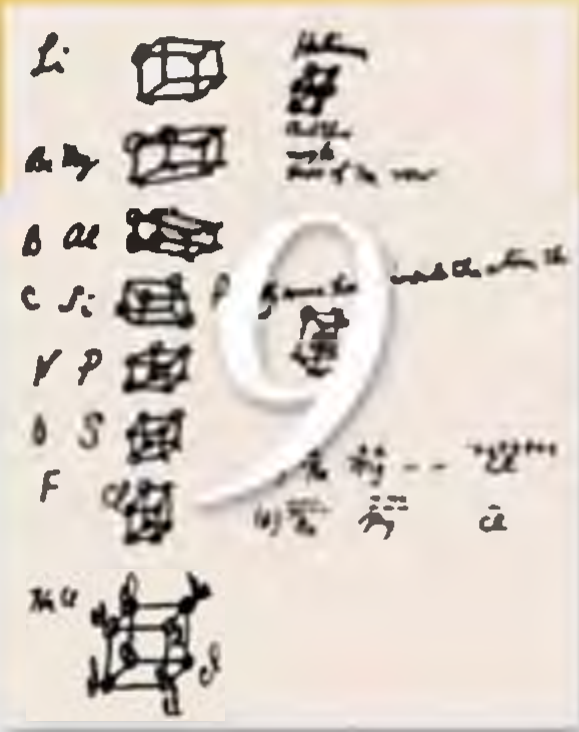
Soy Gazların Keşfi 360

Anahtar İşitlik 361

Olguların ve Kavramların Özeti 361

Anahtar Kelimeler 362

Sorular ve Problemler 362



Kimyasal Bağlanma I: Temel Kavramlar 370

9.1 Lewis Nokta Simgeleri 371

9.2 İyonik Bağ 372

9.3 İyonik Bileşiklerin Örgü Enerjisi 374

KİMYA İş Başında

Sodyum Klorür—Önemli ve Çok Bilinen Bir İyonik Bileşik 378

9.4 Kovalent Bağ 379

9.5 Elektonegatiflik 382

9.6 Lewis Yapılarının Yazılması 386

9.7 Formal Yük ve Lewis Yapısı 389

- 9.8** Rezonans Kavramı 392
9.9 Oktet Kuralından Sapmalar 394

KİMYA İş Başında
 Nitrik Oksit (NO) 399

- 9.10** Bağ Enerjisi 400

Anahtar Eşitlik 405
Öğuların ve Kavramların Özeti 405
Anahtar Kelimeler 405
Sorular ve Problemler 405



Kimyasal Bağlanma II: Molekül Geometrisi ve Atom Orbitallerinin Melezleşmesi 414

- 10.1** Molekül Geometrisi 415
10.2 Dipol Momentler 425
KİMYA İş Başında
 Mikrodalga Fırınlar-Dipol Momentler 428
10.3 Değerlik Bağ Kuramı 431
10.4 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi 433
10.5 İkili ve Üçlü Bağ İçeren Moleküllerde Melezleşme 442
10.6 Molekül Orbital Kuramı 445
10.7 Molekül Orbital Dağılımları 448
10.8 Delokalize Molekül Orbitalleri 454

KİMYA İş Başında
 Bucky Topu: Fullerenler 456
Anahtar Eşitlikler 458
Öğuların ve Kavramların Özeti 458
Anahtar Kelimeler 458
Sorular ve Problemler 459



Moleküllerarası Kuvvetler, Sıvılar ve Katılar 467

- 11.1** Sıvı ve Katıların Kinetik Molekül Kuramı 468
11.2 Moleküller Arası Kuvvetler 469
11.3 Sıvıların Özellikleri 475
11.4 Kristal Yapı 478
KİMYA İş Başında
 Göller Neden Yukarıdan Aşağıya Doğru Donar? 479
11.5 Kristallerde X-Işını Kırınımı 486

11.6 Kristal Tipleri 488*KİMYA İş Başında*

Yüksek-sıcaklık süper-iletkenleri 490

KİMYA İş Başında

Bir Düğme Yüzünden 494

11.7 Amorf Katılar 494**11.8** Faz Değişimleri 495**11.9** Faz Diyagramları 505*KİMYA İş Başında*Dağ Zirvesinde Yumurta Haşlamak, Düdüklü Tencere
ve Buz Pateni 507*KİMYA İş Başında*

Sıvı Kristaller 508

*Anahtar İşitlikler 510**Olguların ve Kavramların Özeti 510**Anahtar Kelimeler 511**Sorular ve Problemler 511***Çözeltilerin Fiziksel Özellikleri 520****12.1** Çözelti Türleri 521**12.2** Çözelti Oluşumuna Moleküler Bakış 522**12.3** Derişim Birimleri 524**12.4** Çözünürlüğe Sıcaklığın Etkisi 529**12.5** Gazların Çözünürlüğüne Basıncın Etkisi 531*KİMYA İş Başında*

Katıl Göl 533

12.6 Elektrolit Olmayan Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri 534**12.7** Elektrolit Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri 546*KİMYA İş Başında*

Diyaliz 548

12.8 Kolloitler 548*Anahtar İşitlikler 551**Olguların ve Kavramların Özeti 551**Anahtar Kelimeler 552**Sorular ve Problemler 552**KİMYANIN Gizemi*

Yanlış Bıçak 562



Kimyasal Kinetik 564

- 13.1** Tepkime Hızı 565
- 13.2** Hız Yasası 573
- 13.3** Tepken Derişimleri ile Zaman Arasındaki İlişki 577

KİMYA İş Başında

Radyokarbon Yaş Tayini 588

- 13.4** Eşik Enerjisi ve Hız Sabitinin Sıcaklığa Bağlılığı 590
- 13.5** Tepkime Mekanizmaları 596
- 13.6** Kataliz 601

KİMYA İş Başında

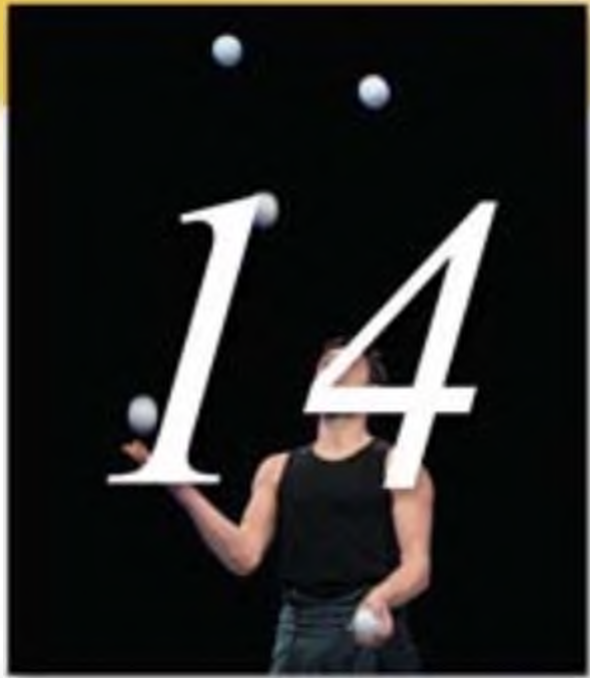
Farmakokinetik 608

Anahtar Eşitlikler 610

Olguların ve Kavramların Özeti 610

Anahtar Kelimeler 611

Sorular ve Problemler 611



Kimyasal Denge 623

- 14.1** Denge Kavramı ve Denge Sabiti 624
- 14.2** Denge Sabiti İfadelerinin Yazılması 627
- 14.3** Kimyasal Kinetik ve Kimyasal Denge Arasındaki İlişki 639
- 14.4** Denge Sabiti Bize Neyi İfade Eder? 640
- 14.5** Kimyasal Dengeyi Etkileyen Faktörler 646

KİMYA İş Başında

Yüksek İrtifalarda Yaşam ve Hemoglobin Üretimi 653

KİMYA İş Başında

Haber Süreci 654

Anahtar Eşitlikler 656

Olguların ve Kavramların Özeti 656

Anahtar Kelimeler 657

Sorular ve Problemler 657



Asitler ve Bazlar 668

- 15.1** Brønsted Asit ve Bazlar 669
- 15.2** Suyun Asit-Baz Özellikleri 670
- 15.3** pH—Asitliğin Ölçümü 672
- 15.4** Asit ve Bazların Kuvveti 675
- 15.5** Zayıf Asitler ve Asit İyonlaşma Sabitleri 679
- 15.6** Zayıf Bazlar ve Baz İyonlaşma Sabitleri 687
- 15.7** Asit ve Eşlenik Bazların İyonlaşma Sabitleri Arasındaki İlişki 689

- 15.8** İki Protonlu ve Çok Protonlu Asitler 690
- 15.9** Molekül Yapısı ve Asitlerin Kuvveti 694
- 15.10** Tuzların Asit-Baz Özellikleri 698
- 15.11** Oksitlerin ve Hidroksitlerin Asit-Baz Özellikleri 704
- 15.12** Lewis Asitleri ve Bazları 706

KİMYA İş Başında

Antasitler ve Midenizin pH dengesi 708

Anahtar İşitlikler 710

Olguların ve Kavramların Özeti 711

Anahtar Kelimeler 711

Sorular ve Problemler 711

KİMYANIN Gizemi

Çürüyen Kağıtlar 720



Asit-Baz ve Çözünürlük Dengeleri 722

- 16.1** Heterojen ve Homojen Çözelti Dengelerinin Karşılaştırılması 723
- 16.2** Ortak İyon Etkisi 723
- 16.3** Tampon Çözeltiler 726
- 16.4** Asit-Baz Titrasyonları 732

KİMYA İş Başında

Kan pH'sının Korunması 734

- 16.5** Asit-Baz İndikatörleri 741
- 16.6** Çözünürlük Dengeleri 744
- 16.7** İyonların Ayrılması ve Ayrımsal Çöktürme 751
- 16.8** Ortak İyon Etkisi ve Çözünürlük 753
- 16.9** pH ve Çözünürlük 755
- 16.10** Kompleks İyon Dengeleri ve Çözünürlük 758

KİMYA İş Başında

Bir Yumurta Kabuğu Nasıl Oluşur? 762

- 16.11** Çözünürlük Çarpımı İlkesinin Nitel Analize Uygulanması 763

Anahtar İşitlikler 765

Olguların ve Kavramların Özeti 766

Anahtar Kelimeler 766

Sorular ve Problemler 766

KİMYANIN Gizemi

Haşlanmış Katı Bir Yumurta 776



Entropi, Serbest Enerji ve Denge 778

- 17.1** Termodinamiğin Üç Yasası 779
- 17.2** İstemli Olaylar 779
- 17.3** Entropi 780
- 17.4** Termodinamiğin İkinci Yasası 785
- 17.5** Gibbs Serbest Enerjisi 791

KİMYA İş Başında

Isı Makinesinin Verimi 792

- 17.6** Serbest Enerji ve Kimyasal Denge 798
- 17.7** Canlı Sistemlerin Termodinamiği 802

KİMYA İş Başında

Lastik Bandın Termodinamiği 803

Anahtar Eşitlikler 805

Olguların ve Kavramların Özeti 805

Anahtar Kelimeler 805

Sorular ve Problemler 806



Elektrokimya 814

- 18.1** Redoks (Yükseltgenme–İndirgenme) Tepkimeleri 815
- 18.2** Galvanik Hücreler 818
- 18.3** Standart İndirgenme Potansiyelleri 820
- 18.4** Redoks Tepkimelerinin Termodinamiği 826
- 18.5** Hücrenin Emk'ne Derişimin Etkisi 829
- 18.6** Piller 834

KİMYA İş Başında

Bakterilerin Gücü 839

- 18.7** Korozyon 840

- 18.8** Elektroliz 843

KİMYA İş Başında

Diş Dolgusu Rahatsızlığı 848

Anahtar Eşitlikler 850

Olguların ve Kavramların Özeti 850

Anahtar Kelimeler 851

Sorular ve Problemler 851

KİMYANIN Gizemi

Kirli Su 862



Çekirdek Kimyası 864

- 19.1** Çekirdek Tepkimelerinin Doğası 865
- 19.2** Çekirdek Kararlılığı 867
- 19.3** Doğal Radyoaktiflik 872
- 19.4** Çekirdek Dönüşümü 876
- 19.5** Çekirdek Bölünmesi 879

KİMYA İş Başında

Tabiat'ın Kendi Çekirdek Birleşme Reaktörü 884

- 19.6** Çekirdek Birleşmesi 885
- 19.7** İzotopların Kullanımı 888
- 19.8** Isımanın Biyolojik Etkileri 890

KİMYA İş Başında

Besinlerin Işınlanması 892

Anahtar İlişkiler 892

KİMYA İş Başında

Bor Nötron Yakalama Terapisi 893

Olguların ve Kavramların Özeti 893

Anahtar Kelimeler 894

Sorular ve Problemler 894

KİMYANIN Gizemi

Yirminci Yüzyılın Sanat Kalpazanlığı 900



Atmosfer Kimyası 902

- 20.1** Dünyanın Atmosferi 903
- 20.2** Atmosferin Dış Tabakalarındaki Olaylar 906
- 20.3** Stratosferde Ozonun Azalışı 908
- 20.4** Volkanlar 913
- 20.5** Sera Etkisi 914
- 20.6** Asit Yağmuru 918
- 20.7** Fotokimyasal Sisli Duman 921
- 20.8** Evsel Kirlilik 923

Olguların ve Kavramların Özeti 926

Anahtar Kelimeler 927

Sorular ve Problemler 927



Metalurji ve Metal Kimyası 932

- 21.1** Metallerin Bulunuşu 933
- 21.2** Metalurjik İşlemler 934
- 21.3** Elektriksel İletkenliğin Band Kuramı 941
- 21.4** Metalik Özelliklerde Periyodik Eğilimler 943
- 21.5** Alkali Metaller 944
- 21.6** Toprak Alkali Metaller 948
- 21.7** Alüminyum 950

KİMYA İş Başında

Alüminyum Geri Dönüşümü 952

Öğuların ve Kavramların Özeti 954

Anahtar Kelimeler 954

Sorular ve Problemler 954



Ametaller ve Bileşikleri 958

- 22.1** Ametallerin Genel Özellikleri 959
- 22.2** Hidrojen 960

KİMYA İş Başında

Metalik Hidrojen 964

- 22.3** Karbon 965

KİMYA İş Başında

Kömürden Sentetik Gaz 968

- 22.4** Azot ve Fosfor 969

KİMYA İş Başında

Ammonyum Nitrat—Patlayıcı Gübre 976

- 22.5** Oksijen ve Kükürt 977

- 22.6** Halojenler 984

Öğuların ve Kavramların Özeti 991

Anahtar Kelimeler 991

Sorular ve Problemler 992



Geçiş Metalleri Kimyası ve Koordinasyon Bileşikleri 996

- 23.1** Geçiş Metallerinin Özellikleri 997
- 23.2** Demir ve Bakır Kimyası 1000
- 23.3** Koordinasyon Bileşikleri 1002
- 23.4** Koordinasyon Bileşiklerinin Yapısı 1007
- 23.5** Koordinasyon Bileşiklerinde Bağlanma: Kristal Alan Kuramı 1011
- 23.6** Koordinasyon Bileşiklerinin Tepkimeleri 1017

KİMYA İş Başında

Canlı Sistemlerde Koordinasyon Bileşikleri 1018

- 23.7** Koordinasyon Bileşiklerinin Uygulamaları 1018

KİMYA İş Başında

Cisplatin- Antikanser İlacı 1020

Anahtar Kavramlar 1022

Olguların ve Kavramların Özeti 1022

Anahtar Kelimeler 1022

Sorular ve Problemler 1023



Organik Kimya 1027

- 24.1** Organik Bileşiklerin Sınıflandırılması 1028
- 24.2** Alifatik Hidrokarbonlar 1028

KİMYA İş Başında

Yanan Buz 1040

- 24.3** Aromatik Hidrokarbonlar 1041
- 24.4** İşlevsel Grupların Kimyası 1044

KİMYA İş Başında

Petrol Endüstrisi 1050

Olguların ve Kavramların Özeti 1052

Anahtar Kelimeler 1053

Sorular ve Problemler 1053

KİMYANIN Gizemi

Silinen Parmak İzleri 1058



Sentetik ve Doğal Organik Polimerler 1060

25.1 Polimerlerin Özellikleri 1061

25.2 Sentetik Organik Polimerler 1061

25.3 Proteinler 1067

KİMYA İş Başında

Orak Hücre Anemisi — Moleküler Bir Hastalık 1074

25.4 Nükleik Asitler 1075

KİMYA İş Başında

DNA Parmak İzi 1078

Olguların ve Kavramların Özeti 1079

Anahtar Kelimeler 1079

Sorular ve Problemler 1079

KİMYANIN Gizemi

Saçlarınızı Kıvrık Yapabilecek Bir Öykü 1084

Ek 1 Element İsimlerinin Türeyişi E-1

Ek 2 Gaz Sabiti Birimleri E-7

Ek 3 1 atm ve 25°C'de Seçilmiş Termodinamik Veriler E-8

Ek 4 Matematiksel İşlemler E-13

Sözlük S-1

Yanıtlar: Çift Sayılı Problemler YP-1

Fotoğraflar F-1

Dizin D-1

Uygulamaların Listesi



Bu kitabın giriş cümlesi şöyledir: “Kimya, hem doğal hem de sosyal alanlarda dünyamız için hayatı öneme sahip, gelişmekte olan aktif bir bilimdir”. Kitap boyunca “Kimya İş Başında” adlı okuma parçaları ve “Kimyanın Gizemi” metinleri, hayatımızın her alanında yer alan ve etkin olan kimya biliminin özgün örneklerini bizlere sunmaktadır.

Kimya İş Başında

İlk Helyum ve Büyük Patlama Kuramı 6
Birimlerin Önemi 17
Elementlerin Dünyada ve Canlı Sistemlerde Dağılımı 49
Kimyasal Gübreler 105
İstenmeyen Çökme Tepkimeleri 126
Nefes Analiz Cihazı (Alkolmetre) 144
Denizden Metal Eldesi 156
Dalgalılık ve Gaz Yasaları 200
Süper Soğuk Atomlar 208
Yapay kar ve Bisiklet Lastiğinin Şişirilmesi 240
Beyaz Yağ Hücreleri, Kalverengi Yağ Hücreleri ve Obezite İçin Potansiyel Tedavi 250
Bombardıman Böceği Nasıl Kendini Savunur 257
Lazer—Görkemli Işık 290
Elektron Mikroskobu 294
Kuantum Noktalar 314
Üçüncü Sıvı Element? 343
Soy gazların Keşfi 360
Sodyum Klorür—Önemli ve Bilinen Bir İyonik Bileşik 378
Nitrik Oksit(NO) 399
Mikrodalga Fırımlar—Dipol Moment 428
Bucky Topu: Fullerenler 456
Göller Neden Yukarıdan Aşağıya Doğru Donar? 479
Yüksek Sıcaklık Süper İletkenleri 490
Bir Düşme Yüzünden 494
Dağ Zirvesinde Yumurta Haşlamak, Düdüklü Tencere ve Buz Pateni 507
Sıvı Kristaller 508
Katıl Göl 533

Diyaliz 548
Radyokarbon Yaş Tayini 588
Farmakokinetik 608
Yüksek İrtifaklarda Yaşam ve Hemoglobün Üretimi 653
Haber Süreci 654
Antiasitler ve Midenizin pH Dengesi 708
Kan pH'sının Korunması 734
Bir Yumurta Kabuğu Nasıl Oluşur 762
Isı Makinesinin Verimi 792
Lastik Bandın Termodinamiği 803
Bakterilerin Gücü 839
Diş Dolgusu Rahatsızlığı 848
Tabiat'ın Kendi Çekirdek Birleşme Rektörü 884
Besinlerin Işınlanması 892
Bor Nötron Yakalama Terapisi 893
Alüminyumun Geri Dönüşümü 952
Metalik Hidrojen 964
Kömürden Sentetik Gaz 968
Amonyum Nitrat—Patlayıcı Gübre 976
Canlı Sistemlerdeki Koordinasyon Bileşikleri 1018
Cisplatin—Antikanser İlacı 1020
Yanan Buz 1040
Petrol Endüstrisi 105
Orak Hücre Anemi—Moleküler Bir Hastalık 1074
DNA Parmak İzi 1078

Kimyanın Gizemi

Dinozorların Yok Oluşu 36
Napolyon'u Kim Öldürdü? 170
Oksijen Azalması 228
İnfilak Eden Lastik 274
Helyumun Keşfi, Koronyumun Yükselişi ve Çöküşü 326
Yanlış Bıçak 562
Çürüten Kağıtlar 720
Haşlanmış Katı Bir Yumurta 776
Kırlı Su 862
Yirminci Yüzyılın Sanat Kalpazanlığı 900
Silinen Parmak İzleri 1058

Animasyonların Listesi



Aşağıda verilen animasyonlar *kimya* ile ilişkilidir.

Bölüm içerisinde yer alan ikonlar öğrenci ve öğretmenlere; bu bölüm içinde sunulan özgün bu konu hakkında bir animasyonun mevcut olduğunu göstermektedir. Animasyonlar Chang Connect internet sitesinden çevrimiçi olarak bulunabilir.

Chang Animasyonları

Işığın absorpsiyonu (22.5)
Asit-baz titrasyonları (16.4)
Asit iyonlaşması (15.5)
Aktifleşme enerjisi (13.4)
Alfa, beta ve gama ışınları (2.2)
Alfa-tanecikleri saçılması (2.2)
Atomik ve iyonik yarıçap (8.3)
Baz iyonlaşması (15.6)
Tampon çözeltiler (16.3)
Kataliz (13.6)
Katot ışın tüpü (2.2)
Kimyasal denge (14.1)
Kırallık (22.4, 24.2)
Su üzerinde bir gazın toplanması (5.6)
Gazların difüzyonu (5.7)
Bir iyonik ve bir kovalent bileşiğin çözünmesi (12.2)
Elektron dağılımları (7.8)
Denge buhar basıncı (11.8)
Formal yük hesaplamaları (9.7)
Galvanik piller (19.2)
Gaz yasaları (5.3)
Isı akışı (6.2)
Melezleşme (10.4)
Hidratlaşma (4.1)
İyonik ve kovalent bağlanmanın karşılaştırılması (9.4)
Le Châtelier ilkesi (14.5)
Sınırlayıcı tepken (3.9)
Çizgi spektrumu (7.3)
Çözelti hazırlama (4.5)

Millikan'ın yağ damlası (2.2)
Çekirdek bölünmesi (23.5)
Nötralleşme tepkimeleri (4.3)
Çarpışmanın yönelimi (13.4)
Osmoz (12.6)
Yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri (4.4)
Kürelerin istiflenmesi (11.4)
Moleküllerin polaritesi (10.2)
Çökme tepkimeleri (4.2)
Seyreltme ile çözelti hazırlama (4.5)
Radyoaktif bozunma (23.3)
Rezonans (9.8)
Sigma ve pi bağları (10.5)
Kuvvetli elektrolitler, zayıf elektrolitler, ve elektrolit olmayanlar (4.1)
VSEPR (10.1)

Daha Fazla McGraw-Hill Animasyonları

Alüminyum üretimi (21.7)
Atomik çizgi spektrumu (7.3)
Küçük birim hücreler (11.4)
Bakır/çinko voltaik pili (18.2)
Voltaik bir pilden akım üretimi (18.2)
Kuvvetli ve zayıf asitlerin ayrışması (15.4)
Yayılma spektrumu (7.3)
Yükseltgenme-indirgenme ile Ag_2S oluşumu (4.4)
İyonik bir bileşiğin oluşumu (2.7)
Kovalent bir bağın oluşumu (9.4)
Polarlığa şeklin etkisi (10.2)
İyonik ve kovalent bağlanma (9.4)
Molekül şekli ve orbital melezleşmesi (10.4)
Voltaik bir hücrenin işleyişi (18.2)
Faz diyagramları ve maddenin halleri (11.9)
Tampon çözeltilerin özellikleri (16.3)
Cu ile AgNO_3 'ün tepkimesi (4.4)
Magnezyum ve oksijenin tepkimesi (4.4, 9.2)
Rutherford deneyi (2.2)
VSEPR kuramı (10.1)

Ilk baskıdan bu yana hedefim, kimyasal kavram ve ilkeler ile sağlam bir temel oluşturan ve günlük hayatımızda kimyanın önemli bir rol oynadığını öğrencilere aşıl原因 bir genel kimya kitabı yazmaktır. Bu amaç doğrultusunda, geniş bir konu yelpazesi sunarak hem öğretmenlere hem de öğrencilere yardımcı olmak, bu ders kitabı yazarının kendisini sorumlu hissettiği bir konudur. Teori ve uygulama arasında bir denge kurmaya ve mümkün olduğunca güncel örnekler ile temel ilkeleri tanımlamaya çalıştım.

Daha önceki baskılarda olduğu gibi, bu on birinci baskıda da hedefim, soyut kavramları açıklayan, gereksiz fazla bilgiler ile öğrencilerin aşırı yüklenmesini önleyen, özlu ve öğrencileri bir sonraki öğrenme seviyesine geçmeye hazırlayan yeterince kapsamlı bir kitap oluşturmaktır. Eğitimciler ve öğrencilerden aldığım teşvik edici geri bildirimler bu yaklaşımın etkili olduğu konusunda beni cesaretlendirmiştir.

Bu Baskıda Neler Yenidir ?

Florida State Üniversitesi'nden **Ken Goldsby** Raymond Chang'a *Kimya*'nın onbirinci baskısında yazar olarak dahil olmuştur. İnorganik Kimya geçmişine sahip olan Ken, içerik ve problemlere katkı sağlamıştır. Ken'in, hem sınıfta hem de laboratuvarında lisans öğrencileri ile birlikte yaptığı kapsamlı çalışmalar, Raymond'ın öğrenci ve eğitimciler için yaptığı görsel malzemelere dayalı geleneksel çalışmaları pekiştirmiştir.

Kitabın daha sonraki kısımlarında yer alan aşağıdaki bölümlerde yeni **düzenlemeler** yapılmıştır:

Bölüm 17: Entropi, Serbest Enerji ve Denge

Bölüm 18: Elektrokimya

Bölüm 19: Çekirdek Kimyası

Bölüm 20: Atmosfer Kimyası

Bölüm 21: Metalürji ve Metal Kimyası

Bölüm 22: Ametal Elementler ve Bileşikleri

Bölüm 23: Geçiş Metalleri Kimyası ve Koordinasyon Bileşikleri

Bölüm 24: Organik Kimya

Bölüm 25: Sentetik ve Doğal Organik Polimerler

Bu bölümlerin **yeniden düzenlenmesi** sayesinde, çekirdek kimyasını öğretecek olan öğretmen üyeleri, elektrokimya konusundan hemen sonra bu bölümü anlatabileceklerdir. Nükleer tıbbın artan önemini ve gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanmasında rol oynayacak olan nükleer güç hakkındaki tartışmalar devam etmektedir. Atmosfer kimyası bölümünün hemen öncesine çekirdek kimyası bölümünün alınması, atmosferdeki radon kirliliği tartışmasının daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Bu yeni baskıya, çok sayıda yeni bölüm sonu problemleri eklenmiştir. Bu problemlerin bir kısmı grafiksel verileri yorumlayabilme ve kavramları açıklayabilme açısından öğrencilerin yeteneklerini sınamaktadır. **Yorumlama, Modelleme ve Tahmin** adı verilen yeni problem türleri on birinci baskıya eklenmiştir. Bu sorular, dünyadaki gerçek problemlerin çözümünü öğrencilere öğretmek için tasarlanmış, uygun varsayımlara dayalı tahminleri içermekte ve gerekli bilgilerin elde edilmesini ve genel cevaplar için bir planın formülleştirilmesini gerektirmektedir. Bölüm 1.10'da yeni problem türleri tanımlanmıştır.

Connect® Chemistry sisteminin oluşturulması ve çok yönlülüğü bu baskıda yer alan yeniliklerden biridir. McGraw-Hill yüksek nitelikli elektronik ev ödevleri sağlamak için titiz bir süreç başlatmıştır. Öğrencilerin ve eğitimcilerin dikkatli gözlemleri sayesinde, çevrimiçi bir öğrenme aracı kullanılarak, ödevlerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Connect sisteminin hedefi, bu en önemli disiplinin kuramsal ve hesaplamalı yönünü çevrimiçi öğrenme yoluyla kavratarak, yeni bir çağ açmaktır.

McGraw-Hill "**Connect Chemistry**" bağlantısı öğrencilere ve eğitimcilere gelişmiş bir dijital ev ödevi deneyimini sunmaktadır. Connect Chemistry sisteminde yer alan her problem, yanlış cevaplar için geri bildirimlerin yanı sıra, özgün ipuçları ile birlikte doğru çözüm metodolojisini içerir. Her bir sorunun doğruluğu iki veya daha fazla kimya profesörü tarafından kontrol edilmiştir. Kitabın yazım ve kimya açısından doğruluğunun bir kaç kez kontrolüne ek olarak, tüm problemlerin öğrenciler ve öğretmen üyeleri tarafından kontrol edilmesi, tüm içeriğin doğru olmasını sağlamak için atılmış adımlardır. Tüm sorular için sağlanan özgün ipuçları ve geri bildirimlerin yanı sıra, sorular öğrencilere ev ödevlerinin içinde değerlendirilebilecek olan molekül çizimi konusunda deneyim sağlar. Connect Chemistry sistemi bilimsel çizim prog-

ramlarının “altın standart”ı olarak kabul edilir ve molekül, tepkime ve mekanizma çizimleri ile ilgilenen bilim adamları için köşe taşı uygulaması olan CambridgeSoft’s ChemDraw programını kullanır.

Yeni “Kimya İş Başında” okuma parçaları, Bölüm 7’ye (Kuantum Noktaları), Bölüm 12’ye (Diyaliz) ve Bölüm 13’e (Farmakokinetikler) eklenmiştir. Ayrıca Bölüm 6’daki Beyaz Yağ Hücreleri, Kahverengi Yağ Hücreleri ve Obezite Tedavisi, Bölüm 10’daki Fullerenler ve Grafen ve Bölüm 13’deki Torino Kefeni konusundaki “Kimya İş Başında” okuma parçaları güncellenmiştir. Connect ve Chem Draw programının bu birlikteliği profesyonel düzeyde çizim yeteneklerine sahip kullanımı kolay, sezgisel ve kapsamlı ders yönetimi ve ev ödevi sistemini sunmaktadır.

Kavramların Değerlendirilmesi kısımları bölümlerin çoğuna yeni eklenmiştir. Bu kısımlar, kavramların öğrenciler tarafından anlaşılıp anlaşılmadığının ölçülmesi için hızlı bir bilgi testidir. Kavramların Değerlendirilmesi bölümünün cevapları Öğrenci Çözüm Kitabında ve Connect internet sitesinde bulunmaktadır.

Birçok bölüm ve kesimler yorumcular ve okuyuculardan gelen eleştirilere göre yeniden eklenmiş ve düzenlenmiştir. Bazı örnekler aşağıda verilmektedir:

- Bölüm 1- Yeni bir örnek olan Örnek 1.9 Gerçek Dünya Problemlerinin Çözümü için: Bilgi, Varsayımlar ve Basitleştirmeler konusu ile Bölüm 1.10’a yeni olarak eklenmiştir.
- Bölüm 3- Sentez konusunda çalışan kimyacıların yan tepkimeleri önlemek için aşırı tepkeni nasıl ayarladıklarını gösteren yeni bir örnek. Örnek 3.16’yı içeren Bölüm 3.9’da tekrar düzenlenmiştir.
- Bölüm 4- Zayıf iki protonlu ve üç protonlu asitleri içeren moleküller ve net iyonik eşitliklerin yazılması konusu yeni olarak Örnek 4.4’e eklenmiştir.
- Bölüm 6- Kabul edilen kullanımlar ile uyumlu olması için, iç enerji (E) simgesi, U simgesi ile değiştirilmiştir.
- Bölüm 7- Kuantum mekaniği konusuna yeni olarak Örnek 7.6 eklenmiştir.
- Bölüm 9- Örnek 9.11 üçüncü periyot ve daha sonraki periyotlarda bulunan elementleri içeren bileşiklerin Lewis yapılarının çizilmesi ve bu yapıların çizilmesindeki tartışmaları açıklamaktadır.
- Bölüm 13- Yalancı birinci dereceden tepkimeler konusu, yeni bölüm olarak eklenmiştir.
- Bölüm 19- Karbon 14 yaş tayininin tıbbi uygulamaları genişletilmiş ve güncelleştirilmiştir.

Problem Çözümü

Problem çözüme becerisinin geliştirilmesi her zaman bu kitabın önemli bir hedefi olmuştur. Problem çözümlerinin öğrenilmesi konusundaki iki ana başlık aşağıda verilmektedir.

Çözümlü Örnekler, aşağıda verilen strateji ve çözüm basamaklarını içerir.

- **Problemi ortaya koyma:** soruyu temel alarak problemin çözümünü için gerekli olan verileri ortaya koymaktır.
- **İzlenecek yol;** Öğrenmenin önemli bir fonksiyonunu yerine getirmek için dikkatlice düşünülmüş plan veya yöntemdir.
- **Çözüm;** verilen bir problemi basamaklı bir şekilde çözüme sürecidir.
- **Kontrol;** öğrencilere cevabın makul olduğundan emin olmaları için kaynak bilgisi ile karşılaştırma ve doğrulama olanağı sağlar.
- **Alıştırma;** problem çözüme yatkın olmak için, benzer bir problemi çözüme olanağı sağlar. Alıştırmalar elektronik ödev sistemi olan Connect sisteminde bulunmaktadır. Kenar notları bölüm sonu problemlerinde yer alan benzer problemleri sıralar.

Bölüm Sonu Problemleri çeşitli şekillerde düzenlenmiştir. Bu konu başlığı altında, tarama sorularını takiben problemlere yer verilmektedir. Ek problemler bölümü ise daha fazla problemlere yer vermekte ve yeni bir problem türü olan Yorumlama, Modelleme ve Tahmin Problemleri ile sona ermektedir.

Bölüm sonu problemlerinin ve örneklerinin çoğunda ekstra bilgiler mevcuttur ve bir kimyacının çözmesi gereken soruları çözmenizi sağlar. Örnek ve problemler, öğrencilere kimya alanında karşılaşılabilecek gerçek problemleri ve günlük hayattaki uygulamaları çözebilmeleri için yol gösterir.

Görselleştirme

Grafikler ve Akış Şemaları biliminde önemlidir. Kimyada akış şemaları, herhangi bir kavramı açıklayabilmek ve anlayabilmek için, verilerin grafik ya da sıralama ile verilmesini içerir. Bu baskıda birçok yeni olan Problemler ve Kavramların Değerlendirilmesi bölümlerinin önemli bir kısmı grafiksel verileri içermektedir.

Molekül resimleri gereksinimlere göre değişik formatlarda verilebilir. Molekül modelleri, atomların üç boyutlu düzenlenmesinin görselleştirilmesine yardım eder. Elektrostatik potansiyel haritaları moleküllerde elektron yoğunluğu dağılımını göstermektedir. Son olarak, makroskopik görseller, mikroskopik görsellere göre öğrencilerin moleküller düzeydeki süreçleri anlamasına yardımcı olur.

Fotoğraflar öğrencilerin kimyasal maddeleri tanımasına ve tepkimelerin gerçekte nasıl göründüklerini anlamasına yardımcı olur.

Cihaz şekilleri ise bir kimya laboratuvarındaki uygulamaların görselleştirilmesini sağlar.

Eğitim Destekleri

Basamakların Kurulması

Her bölüm; Bölüm başlıkları ve Toplu Bakış ile başlar.

Bölüm Başlıkları öğrencilere bir bakışta büyük resmi görme ve bölümün ana fikirleri üzerine odaklanma imkanı sağlar.

Toplu Bakış bölüm içerisinde sunulacak olan kavramların kısaca gözden geçirilmesini sağlar.

Ders Çalışmak İçin Kullanılan Araçlar

Kimya alanında çok sayıda yararlı yardımcı eğitim araçları bulunur. Bunlar kimyasal kavramların anlaşılmasını güçlendirmek için sürekli olarak kullanılmalıdır.

Kenar Notları öğrencilerin bilgi tabanını geliştirmek ve ipuçları ile geri bildirim sağlamak amacıyla kullanılır.

Çözümlü Örnekler alıştırmalar ile birlikte kimyanın öğrenilmesi için çok önemli araçlardır. Problem çözme basamakları, kimya alanında başarılı olmak için gerekli olan eleştirel düşünme konusunda, öğrencilere yol gösterir. Taslak oluşturulması, problemlerin çözümünde öğrencilerin anlamasına yardımcı olur (Bakınız. Sayfa 238 Örnek 6.1). Kenar, notlarında, bölüm sonu problemleri kısmında yer alan benzer problemler vardır. Alıştırmaların cevapları bölüm sonu problemlerinin sonunda sıralanmıştır.

Kavramların Değerlendirilmesi bölüm içinde sunulan kavramların anlaşılıp anlaşılmadığının tespit edilmesini sağlar. Kavramların Değerlendirilmesi sorularının cevapları, Öğrenci Çözüm Kitabında ve Connect Chemistry internet sitesinde çevrimiçi olarak bulunabilir.

Anahtar Eşitlikler Öğrencilerin dikkatini çekmek için, arka planı boyalı olarak bölüm içerisinde verilen eşitliklerdir. Anahtar eşitlikler tekrar amacı ile ve çalışma aşamasında ilgili konuya kolay erişilebilmesi için bölüm sonunda da verilmektedir.

Olguların ve Kavramların Özeti bölüm içinde ayrıntılı olarak ele alınan kavramların hızlı bir biçimde gözden geçirilmesini sağlar.

Anahtar Kelimeler tüm önemli terimleri sıralayarak öğrencilerin kimya dilini anlamalarına yardımcı olur.

Bilginizin Sınanması

Kavramların Değerlendirilmesi bölüm içerisinde sunulan ve tartışılan kavramların anlaşılıp anlaşılmadığının kontrol edilmesini sağlar. Bu

bölümünün cevapları Öğrenci Çözüm Kitabında ve Connect Chemistry internet sitesinde çevrimiçi olarak bulunabilir.

Bölüm Sonu Problemleri Öğrencileri, eleştirel düşünme ve problem çözme becerilerini geliştirmeleri için etkinleştirir. Bu problemler çeşitli türlere ayrılmıştır.

- **Bölüm Soruları.** Problemlerden önce gelen tarama soruları, öğrencilerin problem çözme becerilerini sınamak için temel kavramların anlaşılmasını test eder.
- **Ek Problemler** problemi çözmek için çeşitli bölümlerden ve/veya daha önceki bölümlerden elde edilen bilgileri kullanır.
- **Yorumlama, Modelleme ve Tahmin** modelleri formülleştirme sanatını ve uygun varsayımlara dayalı olarak cevapların tahmin edilmesini öğretir.

Gerçek Hayata Uygunluk

Hayatın içinde kimyanın nasıl uygulandığını gösteren ilginç örnekler kitap boyunca kullanılmıştır. Soyut kimyasal kavramların anlaşılmasına yardımcı olmak için uygun olan yerlerde benzetmeler kullanılmıştır.

Bölüm Sonu Problemleri öğrencilerin çözmesi için birçok konu ile ilgili sorular sunar. Örnekler “Yüzme antranörleri için yüzücülerin kulağına kaçan suyu dışarı çekmek için bazen kulağa bir damla alkol damlatır” veya “Kapağını açmadan gazlı bir içecek şişesindeki basınç nasıl tahmin edilir?” gibi konuları içerir.

Kimya İş Başında adlı okuma parçaları tüm bölümlerde yer almakta kimyanın günlük yaşamın önemli bir bölümünü nasıl etkilediğini açıklayan bir çok gerçek hikayeyi içeren okuma parçalarına yer vermektedir. Öğrenciler dalgıçlığı, nükleer tıp bilimini ve diğer birçok ilginç konuları kimya ile ilişkilendiren ilginç bilimsel metinler okuyacaklardır.

Kimyasal Gizem bölümleri öğrenciye kimyanın gizemini sunmaktadır ve bir dizi kimya soruları sorarak okuma parçalarında verilen kimyasal gizemin nasıl çözülebileceğini gösteren ipuçları vermektedir. Kimyasal gizem, öğrencilere kitap boyunca verilen problem çözme basamaklarını kullanarak yüksek düzeyde eleştirel düşünme yeteneği kazandırır.

Öğretim Üyeleri ve Öğrenciler için Geliştirilmiş Destekler

McGraw-Hill, *kimyada*, hem öğretim üyeleri hem de öğrenciler için çeşitli araç ve teknoloji ürünlerini sunmaktadır. Öğretim üyeleri 1-800-338-3987’den McGraw-Hill

Müşteri Hizmetleri Departmanını arayarak, www.mhhe.com internet sitesini ziyaret ederek veya McGraw-Hill satış temsilcisine başvurarak yardım alabilirler.

Öğretim Üyeleri İçin



McGraw-Hill ConnectPlus®: Kimya öğrenme sürecini etkinleştirmek için bilimsel ilkeleri içeren web tabanlı, interaktif ödev ve değerlendirme platformudur. CambridgeSoft's ChemDraw; "Connect Chemistry" sistemi içinde yer alan kimya ile ilgili çizim aracıdır ve bilimsel çizim programlarının "altın standart"ı olarak kabul edilen molekül, tepkime ve mekanizma çizimleri için bir köşe taşdır. Connect ve Chem Draw programı, profesyonel düzeyde çizim yeteneklerine sahip, kullanımı kolay, sezgisel ve kapsamlı ders yönetimi ve ev ödevi sistemi sunmaktadır.

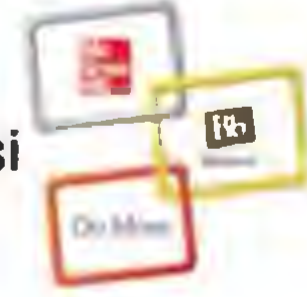
Bu kitapta yer alan Bölüm Sonu Problemleri, Connect Chemistry internet sitesinde, öğretim üyeleri içinde mevcuttur. Öğretim üyeleri var olan soruları tekrar düzenleyebilirler, tamamen yeni sorular oluşturabilirler. Problem, ödev ve kavram ile öğrencilerin bireysel performansını izleyebilir, öğrencilere anında geri bildirim sağlayabilir, sonuçları güvenli bir şekilde çevrimiçi olarak saklayabilirler. Sınıf çalışmaları, WebCT ve Blackboard gibi öğrenme yönetim sistemleri ile kolayca bütünleştirilebilir. Öğretim üyeleri Connect sistemi ile yeni materyaller oluşturarak bunları meslektaşları ile paylaşabilir. Daha fazla bilgi için McGraw-Hill temsilcisine danışabilir ve www.mcgrawhillconnect.com/chemistry internet adresine başvurabilirsiniz.

Eğer siz veya öğrencileriniz geleneksel ders kitaplarının e-kitap gibi alternatif versiyonlarını kullanmaya hazırsanız, McGraw-Hill yayınevi Connect Plus ile size başka bir seçenek sunmaktadır. McGraw-Hill'de yer alan e-kitaplar akıllı, interaktif, aranabilir ve taşınabilir. Bu kitaplar ayrıntılı arama, vurgulama, not alma ve öğretici ile öğrenci arasında not paylaşımına izin veren güçlü bir sistemdir. Buna ek olarak kimya açısından oldukça zengin olan bu e-kitap kaynağı; gerçek bir multimedya öğrenme deneyimi için ders kitabı içeriğine uygun animasyon ve videolar ile donatılmıştır.

LearnSmart™

McGraw-Hill LearnSmart™ yapay zekaya dayanan, ders materyalleri ile sürekli olarak bilginizi değerlendiren, Connect Chemistry tarafından desteklenen uygulamalı bir öğrenme sistemidir. Sistem ile birlikte çalıştığınızda, LearnSmart sizin için hangi bilginin aktif olarak öğrenildiğini ve korunduğunu gösteren uyarlanmış kişisel bir öğrenme yolu geliştirir. Ayrıca bu yenilikçi çalışma aracı, ödevler için başarıyı kademeli olarak ölçen yerleşik bir değerlendirmedir. Öğretim üyesi için durumu tam olarak değerlendirebilme özelliklerine sahiptir. Genel Kimya için LearnSmart uygulamasına www.mcgrawhillconnect.com/chemistry internet adresinden erişebilirsiniz.

Dünyanın En İyi İkili



"McGraw-Hill Higher Education" ve "Blackboard" birlikte çalıştı.

Web tabanlı ders yönetim sistemi olan **BlackBoard®**, yüz yüze eğitimi tamamlamak ve çevrimiçi materyalleri ile etkinliklerin öğrenci ve öğretim üyeleri tarafından daha verimli kullanılmasını sağlamak için, McGraw-Hill ile ortaklığa girmiştir. BlackBoard sistemi daha mantıklı, görsel olarak daha etkileyici ve daha etkin öğrenme fırsatlarını teşvik eden heyecan verici sosyal öğrenme ve öğretme araçlarına sahiptir.

Bu ortaklık, size ve öğrencilerinize Blackboard ders sistemi içerisinde, McGraw Hill Connect and Create sayfasında, tek bir oturum açma hakkı ile bağlanma imkanı sunar.

Connect and Create sistemi ile sadece tek oturum açma hakkı değil aynı zamanda Blackboard içinde bulunan McGraw-Hill içeriğine ve içerik motorlarına ulaşma olanağı da bulursunuz. Dersiniz için bu kitap seçeceğiniz zaman veya Connect sisteminde bir ödev oluşturacağınız zaman, ihtiyacınız olan tüm kaynakları Blackboard sistemi içinde bulacaksınız.

Ders kitapları kesintisiz bir şekilde sistemde yer almaktadır. Bir öğrenci bütünleştirilmiş Connect sistemi ile ev ödevini tamamladığında, bu ev ödevi için notu kendiliğinden ve anında Blackboard sınıf merkezine aktarılır.

McGraw-Hill ve Blackboard size lider endüstri teknolojileri ve içeriğine kolaylıkla erişebilme olanağı sağlar. Daha fazla bilgi için McGraw-Hill temsilcisine danışabilirsiniz.



McGraw-Hill Tegrity® öğrenciler ders çalışırken veya ödevlerini tamamlarken, tekrar yapmaları için her dersi otomatik olarak bulmaktadır. Bu sistem basit bir tık-

lama işlemi ile, başlatarak, durdurarak veya kaydederek işlem yapan günün her saati için sınıf ortamı oluşturan bir hizmettir. Bilgisayar ekranınızda yer alan tüm görüntüyü ve ilgili sesleri kaydedebilirsiniz. Tegrity, bilgisayarınıza kaydettiğiniz slayt sunumlarınızı ve diğer materyallerinizi dizin haline getirir ve böylece öğrenciler çalışmak istedikleri konuyu bulmak için anahtar kelimeleri kullanabilirler.

Özelleştirilebilir Ders Kitapları: Create



Sadece hayal ettiklerinizi oluşturun. Yeni bir web sitesi olan McGraw-Hill Create™, McGraw-Hill üzerinden kapsamlı ve disiplinler arası içeriklerin düzenlenmesi ile basılı veya e-kitap şeklinde özel ders materyalleri oluşturmamızı sağlar. Hızlı ve kolay bir şekilde içeriğinizi ekleyin. Daha sonra bu ders için en mantıklı yol ile içeriği düzenleyin. Hatta ders ismi ve bilgileri ile birlikte kitabınızı özelleştirebilirsiniz. Dersiniz için en iyi formatı seçin: renkli baskı, siyah beyaz baskı veya e-kitap. Günümüzde e-kitaplar iPad üzerinden de görüntülenebilmektedir. Kitabınızın özelleştirme işlemi bitirdiğinizde, bir kaç dakika içinde ücretsiz bir PDF kopyasını alabilirsiniz. Bugün McGraw-Hill Create sayfasını —www.mcgrawhillcreate.com— ziyaret edin ve mükemmel bir kitap oluşturmaya başlayın.

Sunum Merkezi

Sunum merkezi elektronik kitap görüntüleri ve öğretmenler için gerekli materyallerden oluşan eksiksiz bir settir. Eğitim materyallerinizi istediğiniz yerde, istediğiniz zaman, istediğiniz şekilde oluşturabilirsiniz. Ders kitabınızın Connect internet sitesinden erişilen sunum merkezi; kişisel ders notları, görsel geliştirilmiş testler ve sınavlar, zorlayıcı dersler veya ilgi çekici ders materyalleri hazırlamak için kullanılabilecek fotoğraflar, resimler, animasyonlar ve diğer medya türlerini içeren çevrimiçi dijital bir kütüphane. Bütün sunumların telif hakları McGraw-Hill Higher Education'a aittir ancak sınıf ortamında eğitim amaçlı olarak eğitimciler tarafından kullanılabilir. Bu basımda yer alan görsel kaynaklar aşağıda verilmektedir:

- **Resim** Kitapta yer alan tüm resimleri içeren tam renkli dijital dosyalardır.
- **Fotoğraflar** Fotoğraf dosyası kitapta yer alan fotoğrafların dijital dosyalarını içerir.
- **Çizelgeler** Kitapta yer alan her çizelge elektronik olarak mevcuttur.
- **Animasyonlar** Önemli süreçleri açıklayan çok sayıda renkli animasyonlar ayrıca verilmektedir.
- **Slayt, Ders Notları** Kitapta her bir bölüm için hazır sunumlar mevcuttur.

- **Slayt Sunumları** Her bölüme ait çizim, fotoğraf ve çizelgeler önceden boş olan PowerPoint slaytlarına eklenmiştir.

Connect internet sitesinin öğretmenler için hazırlanmış olduğu Library sekmesinden Sunum Merkezi'nin dinamik arama motoru ile ders kitapları ve bölümlerini anahtar kelimeler ile bulabilirsiniz.

Çevrimiçi Elektronik Test Bankaları

Kapsamlı test sorusu bankası, öğretmenlere herhangi bir yerde, herhangi bir zamanda soru hazırlamaları veya mevcut sorulara ulaşmaları için olanak sağlar. Öğreticiler hızlı ve kolay bir şekilde test hazırlamak için yeni soru oluşturabilir veya mevcut soruları düzenleyebilirler. Testler çevrimiçi dersler veya basılı ödevler için yayınlanabilir.

Öğreticinin Çözüm Kitabı

Öğretici çözüm kitabı, Brandon J. Cruickshank (*Northern Arizona University*), Raymond Chang ve Ken Goldsby tarafından yazılmıştır. Tüm bölüm sonu problemlerinin çözümleri bu kitapta verilmiştir. Kitapta ayrıca her problemin zorluk seviyesi ve türü belirtilmiştir. Bu kitap çevrimiçi olarak ders kitabının Connect Library sitesinde bulunmaktadır.

Öğretici'nin El Kitabı

Öğretici el kitabı, her bölümün içeriğinin kısa bir özetini, öğrenme hedefleri ve öğretim ipuçları ile birlikte verir. Bu el kitabı çevrimiçi olarak ders kitabının Connect Library sitesinde bulunmaktadır.

Öğrenciler İçin

Öğrenciler kendi yerleşke kitapevlerine başvurarak, 1-800-262-4729 numaralı telefonu arayarak veya www.shopmcgraw-hill.com adresinden çevrimiçi olarak ek çalışma malzemelerini sipariş edebilirler.

Öğrencilere kimya öğrenme deneyimini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış olan aşağıdaki seçenekleri sunuyoruz:



Featuring **CambridgeSoft® ChemDraw**

McGraw-Hill Connect® Chemistry ile öğrenciler bu ders kitabında öğrendikleri problem çözme yöntemlerinin aynısını kullanarak, pratik yapabilirler. Algoritmik

problemler, içeriğe hakim olmak için verilen benzer problemlerin birçok versiyonunu sunar ve yaygın olarak verilen yanlış cevaplar için ipuçları ve geri bildirimler ile öğrencilere yol gösterir. Uygun olduğu yerde, öğrenciler ev ödevlerinde doğrudan CambridgeSoft's ChemDraw programını kullanarak, kimya ile ilgili çizimleri profesyonel düzeyde doğru bir şekilde öğreneceklerdir.

LearnSmart

McGraw-Hill LearnSmart™ yapay zekaya dayanan, ders materyalleri ile sürekli olarak bilginizi değerlendiren, ve Connect Chemistry tarafından desteklenen uygulamalı bir öğrenme sistemidir. Sistem ile birlikte çalıştığınızda, LearnSmart hangi bilginin aktif olarak öğrenildiğini ve korunduğunu gösteren uyarlanmış bir kişisel öğrenme yolu geliştirir. Ayrıca bu yenilikçi çalışma aracı, ödevler için başarıyı ölçen yerleşik bir değerlendirme ile birlikte, öğretim üyesinin durumu tam olarak değerlendirmesini sağlayan özelliklere sahiptir. Genel Kimya için LearnSmart uygulamasına www.mcgrawhillconnect.com/chemistry internet adresinden erişebilirsiniz.

Öğrenci Çözüm Kitabı

Öğrenci çözüm kitabı Brandon J. Cruickshank (*Northern Arizona University*), Raymond Chang ve Ken Goldsby tarafından yazılmıştır. Bu kitap ders kitabında yer alan çift sayılı problemlerin ayrıntılı çözümleri ve açıklamalarını içerir. Bu çözüm kitabı ayrıca farklı problem türleri üzerine ayrıntılı tartışmalar sunar. Kimya problemlerin çözümü için yeni yaklaşımlar ve kitapta yer alan bölüm sonu problemlerinin çoğu için çözüm stratejileri sunar. Birlikte çözümler içerir. Yorumlama, Modelleme ve Tahmin başlığı altında verilen problemlerin çözümleri bu kitapta yer almamaktadır.

Öğrenci Çalışma Rehberi

Bu rehber, öğrencilerin problem çözme becerilerini uygulamaya dökmelerine yardımcı olmak için, önemli yardımcı malzemeler içerir. Yazar her bölüm için çalışmanın amacı ve ilgili metnin özetini sunmuştur. Özetin ardından detaylı çözümler ile birlikte örnek problemler yer alır. Her bölüm doğru-yanlış soruları ve kendi kendini test bölümlerini içerir. tüm soruların cevapları bölüm sonunda verilmiştir.

MP3/iPod'lar için Animasyonlar

Kitaba ait Connect internet sitesi aracılığı ile Mp3/iPod'unuza indirebileceğiniz çok sayıda animasyon mevcuttur.

Teşekkür

Bu kitabın hazırlanmasında yorumları ile bize katkıda bulunan aşağıdaki meslektaşlarımıza teşekkürü bir borç biliyoruz:

William K. Adeniyi North Carolina Agricultural and Technical State University

Rachel J. Allenbaugh Murray State University

Yiyan Bai Houston Community College

Mufeed M. Basti North Carolina Agricultural and Technical State University

Shuhsien Batamo Houston Community College

Ilan Benjamin University of California–Santa Cruz

John Blaha Columbus State Community College

Stuart Burris Western Kentucky University

Tabitha Ruvarashe Chigwada West Virginia University

Guy Dadson Fullerton College

Jay Deimer New York City College of Technology

Jerome Delhommelle University of North Dakota

Fredesvinda Dura New York City College of Technology

Jahangir Emrani North Carolina Agricultural and Technical State University

Theodore Fickel Los Angeles Valley College

Sheree J. Finley Alabama State University

Jason F. Fuller Eastern Kentucky University

Eric Goll Brookdale Community College

Byron Howell Tyler Junior College

Mark D. Keränen University of Tennessee–Martin

Edith Kippenhan University of Toledo

James F. Kirby Quinnipiac University

Evguenii Kozliak University of North Dakota

Michael Langoh, Tarrant County College

Estelle Lebea, Central Michigan University

Joan Lebsack Fullerton College

Douglas P. Linder Southwestern Oklahoma State University

Karen Lou Union College

Mary K. Lovato J. Sargeant Reynolds Community College

Yin Mao Camden County College

Angela McGuirk Central Michigan University

Dennis McMinn Gonzaga University

Jeremy T. Mitchell-Koch Emporia State University

Svetlana Mitrovski Eastern Illinois University

David Nachman Mesa Community College

Elijah Nyairo *Alabama State University*
 Manoj Patil *Western Iowa Tech Community College*
 Les L. Pesterfi *Western Kentucky University*
 Karla Radke *North Dakota State University*
 Michael E. Rennekamp *Columbus State Community College*
 Arun Royappa *University of West Florida*
 Diana Samaroo *New York City College of Technology*
 Mark Schraf *West Virginia University*
 Rhodora Snow *J. Sargeant Reynolds Community College*
 David Son *Southern Methodist University*
 Lothar Stahl *University of North Dakota*
 Jeffrey Temple *Southeastern Louisiana University*
 Kristofoland Varazo *Francis Marion University*
 Cheryl B. Vaughn *Columbus State Community College*
 Anthony Wren *Butte College*
 Wei Zhou *Southern Polytechnic State University*

Şöyle Bağlayalım: Bu **Kimya** kitabı şu isimlerin büyük çabalarıyla oldukça zenginleştirildi. Yasmin Patell, *Kansas State University*; MaryKay Orgill, *University of Nevada—Las Vegas*; Mirela Krichten, *The College of New Jersey*. Yukarıdaki isimler ipuçlarını yazmada, ödev problemlerinin çoğaltılmasında ve geri bilgi akışının sağlanmasında, ustaca görev yaptılar.

Aşağıdaki isimler **LearnSmart for General Chemistry**'de hedef odaklı içeriklerin zenginleştirilmesi

için yazma ve gözden geçirmede katkıda bulundular: Margaret Ruth Leslie, *Kent State University*; David G. Jones, *North Carolina Central University*; Erin Witteck; Margaret Asirvatham, *University of Colorado—Boulder*; Alexander J. Seed, *Kent State University*; Benjamin Martin, *Texas State University—San Marcos*; Claire Cohen, *University of Toledo*; Manoj Patil, *Western Iowa Tech Community College*; Adam I. Keller, *Columbus State Community College*; Peter de Lijser, *California State University—Fullerton*; Lisa Smith, *North Hennepin Community College*.

Çalıştığım Williams Collage ve Florida State'deki meslektaşlarımın, yurt içi ve yurt dışındaki eğitimcilerin değerli görüşlerinden faydalandım.

Mc Graw-Hill's Collage'nin aşağıdaki elemanlarına verdikleri desteklerden dolayı şükranlarımızı sunmak istiyoruz: Tammy Ben, Annette Doerr, Kara Kudronowicz, Marty Lange, Thomas Timp, Scott Stewart ve Kurt Strand. Özellikle kitabın üretim danışmanlığı için Sandy Wille'yi, dizaynı için David Hash'ı, fotoğraflar için John Leland'i, Medya için Judi David ve pazarlama müdürü Tami Hodge'ı burada anmak isteriz. Ayrıca sponsor editörümüz Jeff Huetmann'a ve yayıncım Ryan Blankenship'e tavsiye ve destekleri için teşekkür ederiz. Son olarak bu baskının her aşamasında büyük bir heves ve dikkatle denetim görevi yapan geliştirme Editörü Shirley Oberbroeckling'e özel teşekkürlerimizi sunarız.

—Raymond Chang ve Ken Goldsby

Öğrenme Basamaklarının Düzenlenmesi

Gerçek Hayatla İlgili

Kimyanın günlük yaşamdaki uygulamaları ile ilgili ilginç örneklerle kitap boyunca yer verilmiştir. Soyut kimyasal kavramların anlaşılmasına yardımcı olmak için benzetmeler kullanılmıştır.

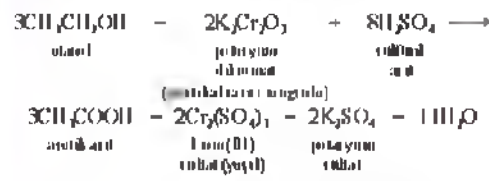
Kimya İş Başında adlı okuma parçaları, çok değişik başlıklarla her bölümde yer almakta, her biri kimyanın hayatımızı nasıl etkilediğini vurgulamaktadır. Öğrenciler tüplü dalış, nükleer tıp bilimi ve diğer birçok ilginç bilimsel konuları buraldardan öğrenebilirler.

Kimyasal Gizem bölümleri öğrenciye gizemli bir olay sunar. Kimya ile ilgili bir dizi sorular sorarak gizemin nasıl çözülebileceğini gösteren ipuçları sağlar. “Kimyasal Gizem” kitap boyunca verilen problem çözme adımlarını kullanarak öğrenciyi yüksek düzeyde eleştirel düşünmeye sevk eder.

Nefes Analiz Cihazı (Alkolmetre)

[illegible]

Poholer, sarımsı olduğundan şüphelenen süitleri kontrol etmek için göğüsünü nefes almaz, eline yazı almalarına adı veriliyor bu yazı kullanılır. Bu yazıyı kıymalı tenceli bir sosla kaplıdır. Bu sosla, süitlerin nefes almaları ile bir alkolünceye alınır ve burada asidik potasyum dikromat çözeltisi ile etkileşime girer. Ağadığı göktenle eşitlikte olduğuna, neşelene alkol (etanol) asetik asit oluşturur.



Bu teklifteki etanol asitlik asido yitirilebilir ve dikromatla kimyasal olarak (VI), yeşil krom (III) iyonuna dönüştür (bak

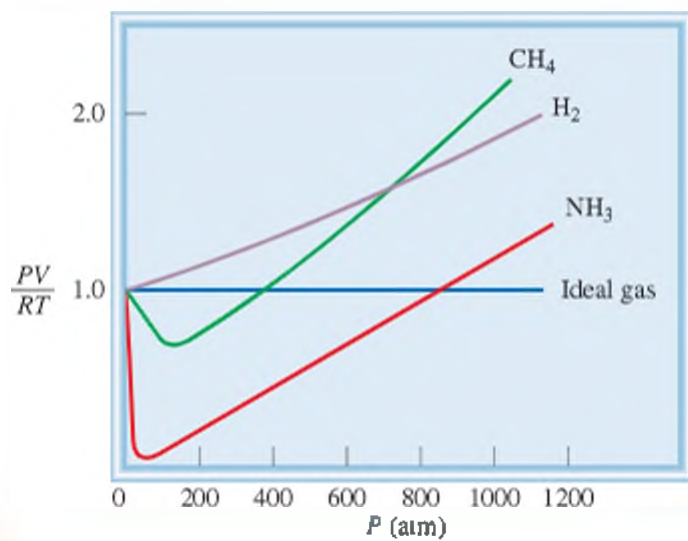


Die stützenden Längsbalken sollen gegen die Abklammerung abgesichert werden.

Şekil 4.22). Bu renk değişiminin sebebi ise daha önceden kalibr edilmiş cihazdan okunarak, süncinin lemindaki alkol oranı için bir biçimde belirlenir. Kandaki yasal alkol sınırı kitlece yizile 0,08'dir. Bunun daha fazlası tehlikeye neden olur.

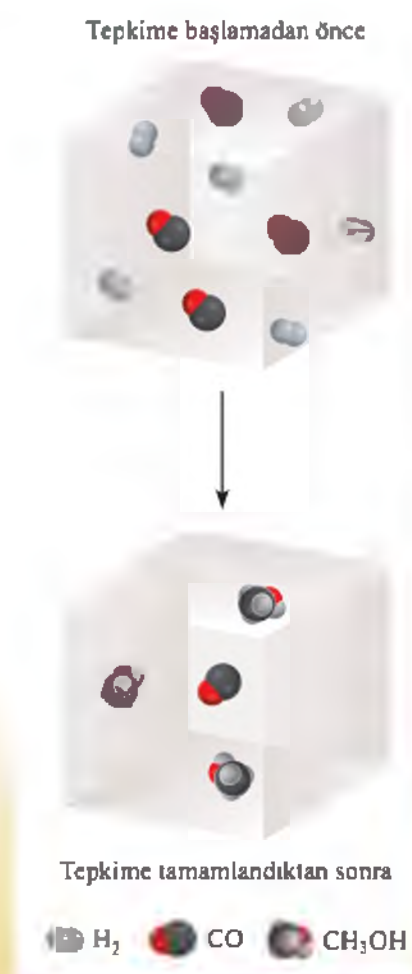
Ավանդույթները դրամահիշ գրավոր
Տարեցույցը շարժվում է Ինդուսի մեծ
քաղաքում ընկալած զանազան
երթնությանը (բրեյ Կարնիլ) ռադո ժողով
նախկին ժողովի օգնականների հետ
մեկը զինված իր հարձակում
ունենալու համար, մեկը ռադոյի ժողովի
հետ մեկտեղ զինված զինվորների հետ
գրավոր խաղաղության

Görselleştirme



Grafikler ve Akış Şemaları

Moleküler Sanat



Anahtar Eşitlikler

$\Delta U = q + w$	(6.1)	Termodinamiğin birinci yasasının matematiksel ifadesi.
$w = -P\Delta V$	(6.3)	Gaz genleşmesi veya gaz sıkıştırılmasında işin hesaplanması.
$H = U + PV$	(6.6)	İntalpinin tanımı
$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$	(6.8)	Sabit-basınç işlemi için entalpinin (veya enerji) hesaplanması.
$C = ms$	(6.11)	Isı kapasitesinin tanımı.
$q = ms\Delta t$	(6.12)	Özgül ısıya dayanarak ısı değerinin hesaplanması.
$q = C\Delta t$	(6.13)	Isı kapasitesine dayanarak ısı değişiminin hesaplanması.
$\Delta H_{\text{tep}}^{\circ} = \sum n\Delta H_{\text{öl}}^{\circ}(\text{ürünler}) - \sum m\Delta H_{\text{öl}}^{\circ}(\text{tepkenler})$	(6.18)	Standart tepkime entalpisinin hesaplanması.
$\Delta H_{\text{çözelti}} = U + \Delta H_{\text{hid}}$	(6.20)	Örgü enerjisi ve hidrallaşmanın çözelti ısısına katkısı.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Enerji iş yapabilme kapasitesidir. Birçok enerji türü vardır ve bunlar birbirine dönüşebilirler. Enerjinin korunumu yasası evrenin toplam enerjisinin sabit olduğunu belirtir.
2. Çevreye ısı veren bir süreç ekzotermik, çevreden ısı alan bir süreç ise endotermik olarak adlandırılır.
3. Bir sistemi tanımlamak için, bileşim, hacim, sıcaklık ve basınç gibi değişkenler kullanılır.
4. Sistemin hal fonksiyonundaki değişiklik, sistemin ilk ve son haline bağlı olup, izlenen yola bağlı değildir. Enerji bir hal fonksiyonudur, ancak iş ve ısı hal fonksiyonu değildir.
5. Termodinamiğin birinci yasasına göre, enerji yoktan var edilemez, varken yok edilemez. Ancak enerji bir şekilde başka şekle dönüşebilir. Kimyada genel olarak ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve mekanik enerji ile ilgilenilir ve bunlar genellikle basınç-hacim işi ile ilişkilidirler.
6. İntalpi bir hal fonksiyonudur. İntalpideki değişim (ΔH) sabit-basınçta $\Delta U + P\Delta V$ 'ye eşittir.
7. İntalpi değişimi (ΔH genellikle kilojoule olarak verilir) sabit basınçta tepkime (veya başka bir süreç) ısısının ölçüsüdür.
8. Fiziksel ve kimyasal işlemlerde ısı değişimlerini ölçmek için sabit-hacim ve sabit-basınç kalorimetreleri kullanılır.
9. Hess yasasına göre bir tepkimenin entalpi değişimi, bu toplam tepkimeyi oluşturan basamakların entalpi değişimleri toplamına eşittir. Bir tepkimenin standart entalpi değişimi, tepkimeye giren ve çıkan maddelerin oluşum entalpilerinden bulunabilir.
10. Standart tepkime entalpisi, tepkenlerin ve ürünlerin standart oluşum entalpilerinden hesaplanabilir.
11. İyonik bir bileşiğin sudaki çözünme ısı, bileşiğin örgü enerjisi ile hidrallaşma ısısının toplamıdır. Bu iki büyüklüğün birbirine göre büyüklüğü çözünme işleminin endotermik veya ekzotermik olmasına bağlıdır. Seyrelme ısı, bir çözelti seyreltildiğinde salınan veya alınan ısıdır.

Anahtar Kelimeler

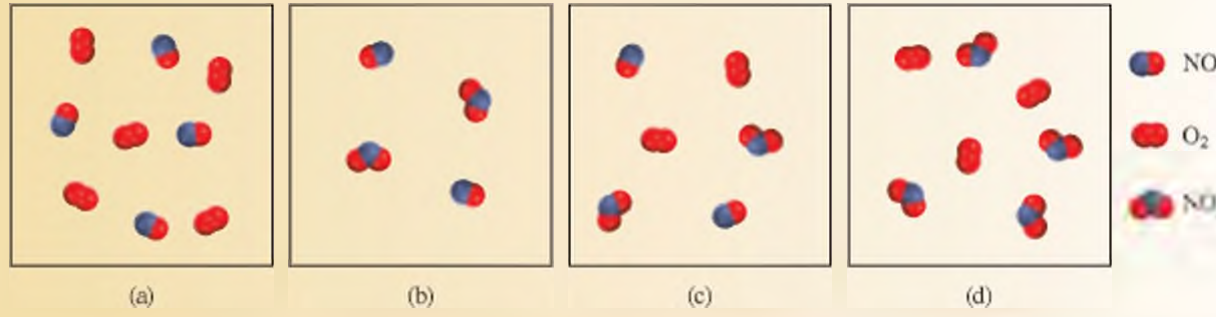
Açık sistem, s. 232	Hal fonksiyonu, s. 234	Örgü enerjisi (U), s. 261	Standart tepkime entalpisi ($\Delta H_{\text{tep}}^{\circ}$), s. 255
Çevre, s. 232	Hess Yasası, s. 256	Özgül ısı (s), s. 247	Tepkime entalpisi, s. 242
Çözelti entalpisi ($\Delta H_{\text{çöz}}$), s. 260	Hidrallaşma ısı, s. 262	Potansiyel enerji, s. 231	Termodinamiğin birinci yasası, s. 234
Çözelti ısı ($\Delta H_{\text{çöz}}$), s. 260	Isı enerjisi, s. 231	Seyrelme ısı, s. 262	Termodinamik, s. 234
Ekzotermik olay, s. 233	Isı kapasitesi (C), s. 247	Sistem, s. 232	Termokimya, s. 232
Endotermik olay, s. 233	Isı, s. 232	Sistemin hali, s. 234	Termokimyasal eşitlik, s. 243
Enerji, s. 231	Işma enerjisi, s. 231	Sistemin hali, s. 234	Yalıtılmış sistem, s. 232
Enerjinin korunumu yasası, s. 231	İş, s. 231	Standart hal, s. 254	
Entalpi, s. 241	Kalorimetri, s. 246	Standart oluşum entalpisi ($\Delta H_{\text{öl}}^{\circ}$), s. 254	
	Kapalı sistem, s. 232		
	Kimyasal Enerji, s. 231		

Chang Öğrenme Sistemi

Edindiğiniz bilgilerle bu hızlı testi cevaplayarak bölüm içeriğini gözden geçiriniz.

Kavramların Değerlendirilmesi

(a)'da gaz halinde gösterilen tepkenlerden başlayarak tepkime için bir eşitlik yazınız. (b) – (d) arasında verilen durumlardan hangisinin sınırlayıcı bileşenle birlikte tepkimayı gösterdiğini belirleyiniz.



Örnek 4.4

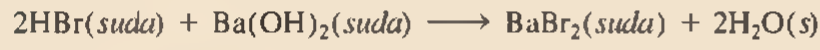
Aşağıdaki asit-baz tepkimeleri için moleküler, iyonik, net iyonik eşitlikleri yazınız.

(a) hidrobromik asit (*suda*) + baryum hidroksit (*suda*) →

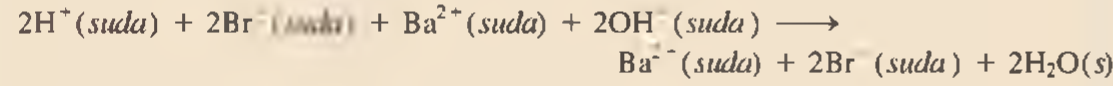
(b) sülfürik asit (*suda*) + potasyum hidroksit (*suda*) →

İzlenecek Yol İlk yapılacak iş, asit ve bazları kuvvetli veya zayıf olarak tanımlamaktır. HBr 'ün kuvvetli bir asit, H_2SO_4 'ün iyonlaşmanın ilk basamağında kuvvetli ikinci basamağında ise zayıf asit olduğunu görmüştük. Hem $\text{Ba}(\text{OH})_2$ hem de KOH kuvvetli bazdır.

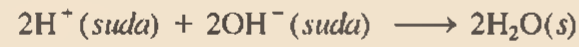
Çözüm (a) Moleküler eşitlik:



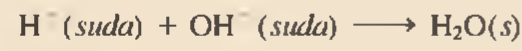
İyonik eşitlik :



Net iyonik eşitlik:

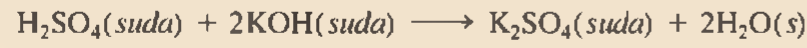


veya

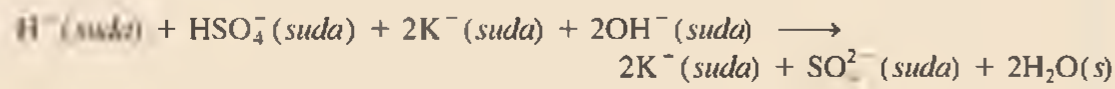


Yukarıda, hem Ba^{2+} hem de Br^- gözlemlenir iyonlardır.

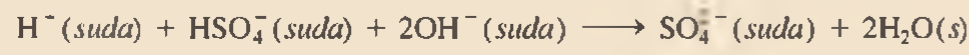
(b) Moleküler eşitlik:



İyonik eşitlik:



Net iyonik eşitlik:



HSO_4^- in zayıf asit olduğuna ve suda fazlaca iyonlaşmadığına, K^+ nin sadece gözlemlenir iyon olduğuna dikkat ediniz.

Alıştırma Fosforik asit ve sodyum hidroksit sulu çözeltileri arasında gerçekleşen tepkime için moleküler, iyonik ve net iyonik eşitlik yazınız.

Problem çözme yöntemini. çözüm aşamaları olan “izlenecek yol, çözüm ve çözüm yolunuzu kontrol” basamaklarını izleyerek **öğreniniz**.

Problem çözme yaklaşımlarını, günlük hayattaki problemler için **kullanınız**. Sizlere tıpkı bir kimyager gibi problem çözme fırsatı sağlayan “Yorumlama, Modelleme ve Tahmin” soruları, elinizdeki *Kimya* kitabında (11. baskı) yer alan yeniliklerden biridir.

4.172 Potasyum süperoksit (KO_2) solunum ekipmanlarında yer alan faydalı bir oksijen kaynağıdır. Potasyum süperoksit su ile potasyum hidroksit, hidrojen peroksit ve oksijen oluşturmak üzere tepkimeye girer. Ayrıca, potasyum süperoksit karbondioksit ile tepkimeye girerek potasyum karbonat ve oksijen oluşturur. (a) Bu iki tepkime için eşitlikleri yazınız, potasyum süperoksitin uygulamadaki etkinliği hakkında yorum yapınız. (b) Sadece KO_2 ve CO_2 arasındaki tepkimede yoğunlaştığımızda, kirli bir çevrede bulunan işçinin 30 dakika çalışmaya devam edebilmesi için ihtiyaç duyacağı KO_2 miktarını bulunuz. Faydalanılacak bilgi için Problem 1.69' a bakınız.

Connect Chemistry ile Öğrencilerin Öğrenmesi



Featuring CambridgeSoft® ChemDraw

İnteraktif öğrenme platformu olan McGraw-Hill ConnectPlus® otomatik ve aşamalı değerlendirmeler, kişiselleştirilebilir e-kitaplar ve öğrenme çıktıları ile zorluk düzeylerine karşı etkin bir uygulama sağlar.

İhtiyacınız Olan Her Şey. . . Tek Bir Yerde!

The screenshot displays the McGraw-Hill Connect Chemistry interface. At the top, it shows the 'connect' logo and 'plus+' branding. Below this, a 'Question Demo Assignment' is shown, specifically 'Question #1 (of 7)'. The question asks: 'How many grams of potassium chlorate decompose to potassium chloride and 444 mL of O₂ at 129°C and 752 torr?' The chemical equation provided is $2 \text{KClO}_3(s) \rightarrow 2 \text{KCl}(s) + 3 \text{O}_2(g)$. A text input field is present for the answer. To the right of the question, there is an 'Assistance' menu with options: 'Check My Work', 'Show Hint', 'Show Question', 'Show Me', 'Detailed Solution', 'Print', and 'Question Help'. Below the question, there are three feedback panels: 'HINT:', 'GENERIC FEEDBACK: TRY AGAIN!!', and 'SPECIFIC FEEDBACK: TRY AGAIN!!'. The 'GUIDED SOLUTION:' panel shows a step-by-step calculation for the moles of O₂ using the ideal gas law. On the right side, there is a 'Chapter 5' section with a 'preview' button and a 'student activity' button. At the bottom right, there is a 'Don't forget to save!' message.

Connect Chemistry içerisinde yer alan birçok sorun, öğrencilere ödevleri için doğrudan kullanabilecekleri *kimyasal formülleri çizibilme deneyimleri* kazandırır.

Connect Chemistry sistemi bilimsel çizim programlarının “altın standart”ı olarak kabul edilen CambridgeSoft®s ChemDraw ile birlikte çalışır. Molekül, tepkime ve mekanizma çizen bilim insanları için köşe taşı uygulamasıdır. Connect ve ChemDraw programının bu birlikteliğinin, profesyonel düzeyde çizim yeteneklerine sahip kullanımı, sezgisel ve kapsamlı ders yönetimi ve ev ödevi uygulamalarını birlikte sunar.

www.mcgrawhillconnect.com/getstarted

LearnSmart

LearnSmart sadece uyarlanabilir bir öğrenme sistemi değildir, aynı zamanda öğrencilerin başarısı için kişiselleştirilmiş çalışma planlarını eşleştirir. Hafıza kartlarıyla veya tekrarlayarak ezberlemenin aksine, LearnSmart öğrencilerimizin sınava girmeden önce ders kavramlarına hakim olmalarını sağlayarak zaman kazandırır ve başarısını artırır.

Uyarlanabilir Sorgulamalar

Bir öğrencinin bilgisi bir dizi akıllıca soruları sorularak ölçülebilir. Bu sorular hem zorluk derecelerine hem de öğrencilerin zayıf veya güçlü oldukları alanları temel alan konulara göre dinamik olarak değişmektedir. Her bir uygulama oturumu; önceki performansa, öğrencinin bilgiyi ne zaman unuttuğunu tahminine, unutulacak olan bu bilginin nasıl güçlendirilebileceğine karar veren LearnSmart uygulamasının kullandığı gelişmiş modellere dayalıdır. Bu uygulama öğrencilerin çalışma zamanlarını kaydeder ve kavramların ustalıkla öğrenilmesini sağlar.



Doğrudan Geri Bildirim

Öğrenci bir konuda yanlış bir cevap verdiğinde doğru cevap geri bildirim ile birlikte sağlanır..

Zaman Aşımı

LearnSmart; öğrencinin zorlandığı belirli bir konu alanını tespit ettiğinde, durumu zaman aşımı olarak değerlendirir ve öğrenciyi ders kitabında konunun yer aldığı bölüme yönlendirir. Öğrencinin ConnectPlus ile hemen çalışabileceği belirli bir e-kitap sayfası ile bağlantı kurulmasını sağlar.



Raporlama

Dinamik olarak oluşturulan raporlar, öğrencilerin güçlü ve zayıf yönlerini bir bakışta ortaya koyan ek tavsiyeler içerir. Buna göre öğrenci gelişimini ve alanlarını sıralar.

Raporlar aşağıdaki başlıkları içerir.

- En zorlu öğrenme hedefleri
- Akıl ağacı
- Test sonuçları
- Mevcut öğrenim durumu
- Bilişsel beceriler
- Kaçırılan sorular
- Öğrenme planı

Genel kimya diğer birçok alanla kıyaslandığında daha zor kavranabilmektedir. Aslında bunun bazı haklı nedenleri de vardır. Örneğin kimya kendine özgü bir alfabeye sahiptir. Yani kimya öğrenmek yeni bir dil öğrenmek gibidir. Üstelik bazı kavramlar da oldukça kuramsaldır. Bununla birlikte, bütün bunlara karşın göstereceğiniz gayret ve çalışkanlıkla bu dersi sevip başarabilirsiniz. İyi bir çalışma alışkanlığı kazanıp başarılı olabilmemiz için size bazı öneriler:

- Derse düzenli olarak devam ediniz ve anlatılanları dikkatlice not alınız.
- Derste anlatılanları mümkün olduğunca aynı gün gözden geçiriniz. Bu kitabı ders notlarınızı desteklemek amacıyla kullanınız.
- Eleştirel düşününüz. Bir terimin anlamını ya da bir eşitliğin kullanımını gerçekten anlayıp anlamadığınızı sorgulayınız. Bunu test etmenin en iyi yolu öğrenilen bir kavramı sınıf arkadaşınıza ya da başka bir kişiye açıklayabilmektir.
- Öğretim üyesine ya da asistana soru sormaktan çekinmeyiniz.

Onbirinci baskı *Genel Kimyayı* en iyi şekilde anlamanız için bazı öğretme teknikleriyle desteklenmiştir. Aşağıda bu kitaptan ve diğer yöntemlerden nasıl yararlanabileceğinizi açıklayan bir rehber verilmiştir.

- Kitaptaki bir bölüme derinlemesine girmeden önce, önemli konular hakkında genel düşünceye sahip olmak için, *ana hatları* ve bölümün *giriş* kısmını okuyunuz. Sınıfta not tutarken, bunları bir düzene koymak için akış şeması kullanınız.
- Her bölümün sonunda sınavlar için, tekrarında faydalı olabilecek, olgu ve kavramların özeti, anahtar eşitlikler ve anahtar kelimeler verilmiştir.

- Her bölümün sonunda verilen anahtar kelimelerin karşısında, o kelimenin bölüm içindeki sayfası verilmiştir. Anahtar kelimelerin tanımları verilen bu sayfalara dönülerek ya da kitabın sonundaki sözlük kısmından faydalanılarak öğrenilebilir.
- İnternette öğrenme merkezine olan Connect Chemistry çok sayıda kaynak içermektedir. “www.mhhe.com/physsci/chemistry/chang” adresinden gerekli başlıkları tıklayarak küçük sınav, animasyon, interaktif, simülasyon gibi içerikleri indirebilir ve ev ödevlerinizi elektronik ortamda yapabilirsiniz.
- Her bölümde yer alan örnek problemleri dikkatlice çalışmanız, problemleri analiz etme ve doğru bir şekilde çözmek için gerekli hesapları yapma becerisi kazandıracaktır. Her örnek problemi takiben verilen alıştırmaları çözmek için zaman ayırınız. Örnek problem türünde verilen alıştırmaları çözebilmek, alıştırmaları kavradığınızdan emin olmanız açısından önemlidir. Alıştırma problemlerinin cevapları her bölümün sonundaki ödev problemlerini takiben verilmektedir. Daha fazla alıştırmaya yapmak için, alıştırmalarının hemen karşısında belirtilen “benzer problem” leri çözüünüz.
- Bölüm sonunda verilen soru ve problemler kitaptaki konu sırasına göre düzenlenmiştir.
- Arka kapak sayfasında önemli şekil ve çizelgeler dizini verilmiştir. Bu dizin problem çözerken ya da farklı bir bölüme çalışırken, konuyla ilgili çizelge ya da şeklin hızlı bir şekilde bulmasına yardımcı olur.

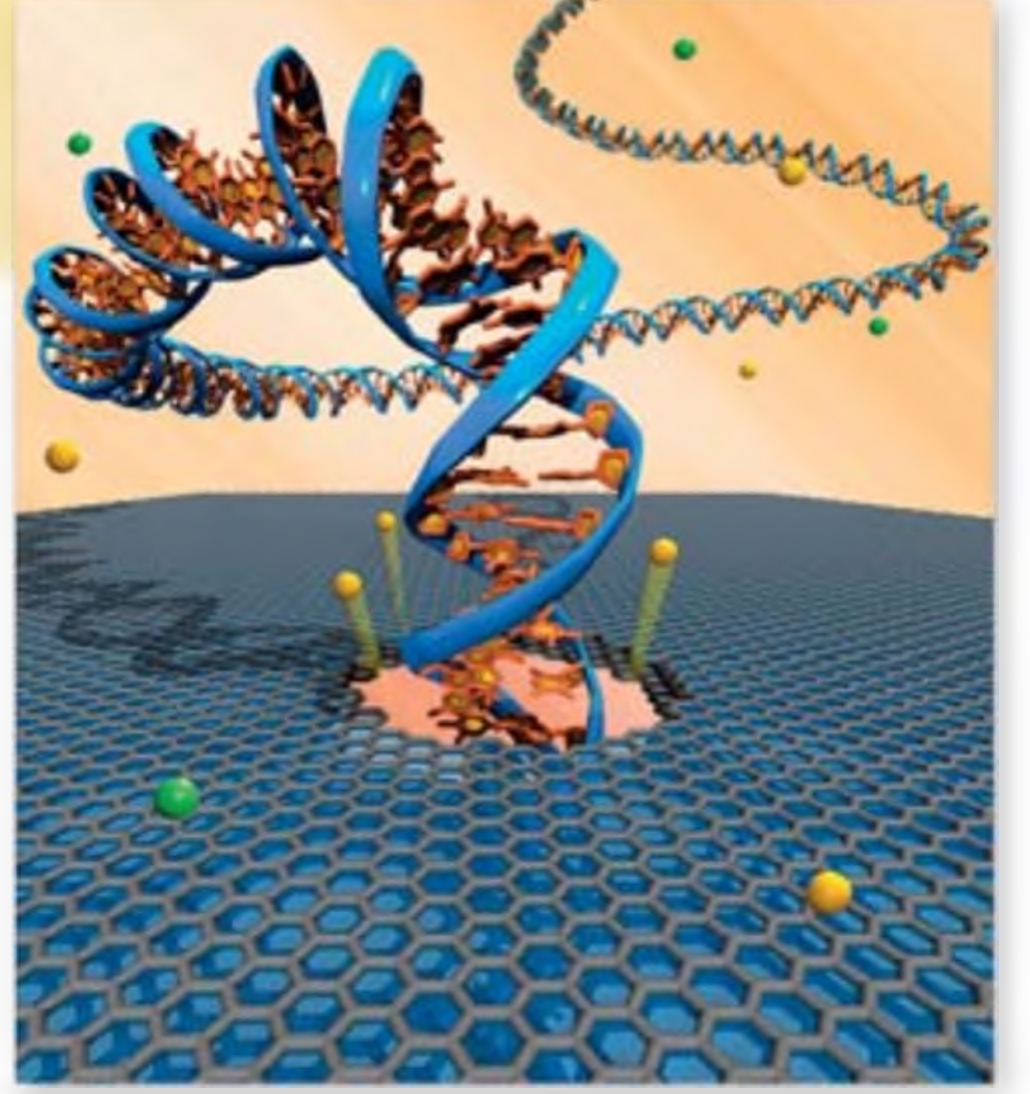
Eğer bu önerilere uyar ve gayret gösterirseniz, kimyanın kolay baş edilebilir, zor olmayan ve tahmininizin ötesinde ilginç bir bilim dalı olduğunu göreceksiniz.

—Raymond Chang ve Ken Goldsby

Genel Kimya

Kimya

Değişimin İncelenmesi



Bilim insanları, elektrik alanı uygulayarak DNA moleküllerini grafende oluşturulan gözeneklerden geçirmek için yeni bir teknik geliştirdiler. Bu teknik, dört kimyasal bazın kendilerine özgü elektriksel özelliklerine göre hızlı dizilimi için kullanılabilir.

Bölüm Başlıkları

- 1.1 Kimya: Yirmi Birinci Yüzyılın Bilimi
- 1.2 Kimyanın Çalışma Alanı
- 1.3 Bilimsel Yöntem
- 1.4 Maddenin Sınıflandırılması
- 1.5 Maddenin Üç Hali
- 1.6 Maddenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri
- 1.7 Ölçme
- 1.8 Sayıların Kullanımı
- 1.9 Problem Çözümünde Boyut Analizi
- 1.10 Dünyadaki Gerçek Problemlerin Çözümü: Bilgi, Varsayımlar ve Basitleştirmeler

Toplu Bakış

- Kimyanın çalışma alanına kısa bir giriş yaptıktan sonra, modern toplum-daki rolünü tanımlayacağız. (1.1 ve 1.2)
- Sonra, bütün bilimsel disiplinlerde araştırma yapmak için sistematik bir yaklaşım olan bilimsel yöntemi kavrayacağız. (1.3)
- Maddeyi tanımlayacağız ve bir saf maddenin bir element ya da bir bileşik olabileceğine dikkat edeceğiz. Bir homojen karışım ile bir heterojen karışımı ayıracağız. Bütün maddelerin katı, sıvı ve gaz gibi üç halden birinde bulunabileceğini de öğreneceğiz. (1.4 ve 1.5)
- Bir saf maddeyi karakterize etmek için fiziksel özelliklerini bilmemiz gerekir. Fiziksel özellikler, maddenin kimyasal özellikleri ve kimliği değişmek-sizin gözlenebilir. Ancak, kimyasal özellikler kimyasal değişimler ile gös-terilebilir (1.6)
- Kimya, deneysel bir bilim olması nedeniyle, ölçümleri içerir. Burada, temel SI birimlerini öğreneceğiz ve hacim ve yoğunluk gibi nicelikler için türe-tilmiş SI birimlerini kullanacağız. Celsius, Fahrenheit ve Kelvin gibi üç sıcaklık ölçeğini de öğreneceğiz. (1.7)
- Kimyasal hesaplamalar genellikle çok büyük veya çok küçük sayıları içe-rir. Bu sayılarla işlem yapmanın uygun yolu bilimsel gösterimdir. Hesaplamalarda veya ölçümlerde, her miktar uygun sayıda anlamlı rakam-larla gösterilmelidir. (1.8)
- Kimyasal hesaplamalarda yararlı olan boyut analizini öğreneceğiz. Hesaplama dizisi boyunca birimleri ilerlettiğimizde, istenilen birim hariç diğer birimler birbiriyle sadeleşecektir. (1.9)
- Gerçek problemlerinin çözümü çoğu kez varsayımları ve basitleştirmeleri içerir (1.10).



Kimya için yazılan Çince karakterler "Değişimin İncelenmesi" anlamına geliyor.

Kimya, hem doğal hem de sosyal alanlarda dünyamız için hayati öneme sahip, gelişmekte olan aktif bir bilimdir. Kökleri eskidir, ancak göreceğimiz gibi, kimya modern bilimin her alanında yer tutar.

Kimya konusundaki incelemelerimize, dünyamızı oluşturan, görebildiğimiz ve ölçebildiğimiz maddelerden yani makroskopik seviyesinden başlayacağız. Bu bölümde sadece kimyada değil, diğer bütün bilim dallarında da yapılan araştırmalar için temel oluşturan, bilimsel yöntemi ele alacağız. Daha sonra bilim adamlarının maddeyi nasıl tanımladıklarını ve karakterize ettiklerini anlayacağız. Kimyasal ölçümlerin sayısal sonuçlarının nasıl işleneceğini, sayısal problemlerin nasıl çözüleceğini öğrenmek için biraz zaman harcayacağız. Bölüm 2'de atom ve moleküllerin mikroskobik dünyalarını incelemeye başlayacağız.

1.1 Kimya: Yirmi Birinci Yüzyılın Bilimi

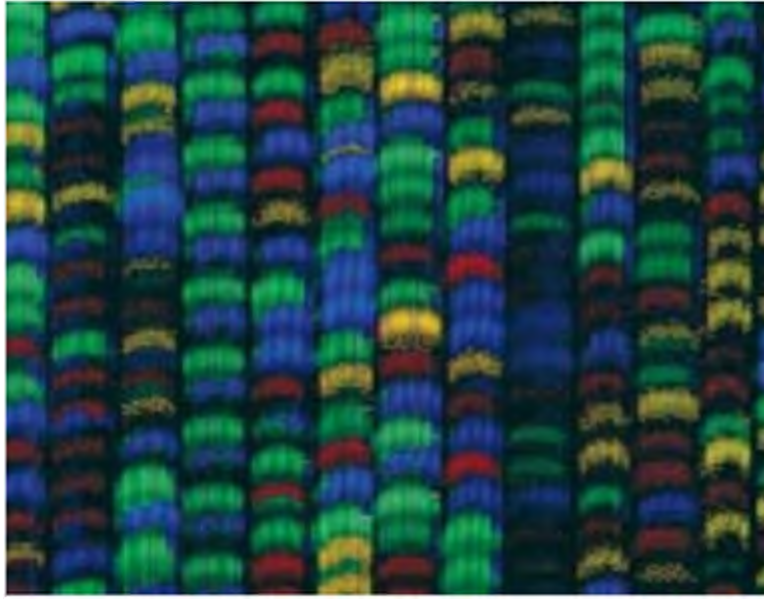
Kimya maddenin ve uğradığı değişimlerin araştırılmasıdır. Temel bir kimya bilgisi biyoloji, fizik, jeoloji, ekoloji ve pek çok diğer bölüm öğrencileri için gerekli olduğundan, kimya çoğu kez merkezi bir bilim olarak adlandırılır. Aslında, kimya yaşam tarzımızın merkezidir. Kimya olmasaydı ilkel şartları yaşayacaktık ve otomobil, elektrik, bilgisayar, CD ya da her günkü hayatımızı kolaylaştıran diğer pek çok şey olmayacaktı, hatta yaşamımız daha kısa olacaktı.

Kimya çok eski bir bilim olmasına rağmen, on dokuzuncu yüzyılın düşünsel ve teknolojik gelişmelerinin bilim insanlarına maddeleri olabildiğince küçük parçalara ayırma olanağı sağlamasıyla, maddelerin pek çok fiziksel ve kimyasal özellikleri açıklanarak kimyanın modern temelleri kuruldu. Teknolojinin yirminci yüzyıl boyunca hızla gelişmesi sonucu, çıplak gözle görülemeyecek nesnelerin araştırılması mümkün oldu. Kimyacılar, örneğin, bilgisayar ve özel mikroskoplar kullanarak kimya çalışmalarının dayandığı temel birimler olan atom ve moleküllerin yapılarını analiz edebildiler. İlaç ve çevre dostu ürünleri ya da buna benzer yeni maddeleri tasarlayabildiler.

Yirmi birinci yüzyılda temel bilimlerden hangisinin, merkezi bilim olacağını sorgulamamız gerekir. Kesine yakın söyleyebiliriz ki, kimya bilim ve teknolojinin bütün alanlarında en önemli rolü oynamaya devam edecektir. Maddenin araştırılmasına ve şekil değiştirmesine girmeden önce, kimyacıların incelemekte oldukları konuların sınırları içerisinde yer alan bazı konulara bakalım (Şekil 1.1). Genel kimyayı ders olarak almaktaki sebebiniz ne olursa olsun, konular hakkında yeterli bilgiye sahip olmanız, kimyanın toplum ve birey olarak sizin üzerinizdeki etkisini anlamınıza daha iyi olanak sağlayacaktır.

1.2 Kimyanın Çalışma Alanı

Diğerleri ile karşılaştırıldığında, kimyanın temel seviyede bile daha zor olduğu yaygın bir kanıdır. Bu algı için bazı haklı nedenler vardır. Örneğin, kimya kendine özgü bir alfabeye sahiptir. Diğer yandan, bu ders sizin ilk kimya dersiniz olsa bile, kimya konusunda önceden bazı bilgilere aşina olmanız gerekir. Günlük sohbetlerimizde, bazen bilimsel olarak doğru çağrışım yapmasa da, kimya ile bağlantılı bazı kelimeler duyarız. Örneğin, "elektronik", "kuantum sıçraması", "denge", "katalizör", "zincirleme tepkime" ve "kritik kütle" vb. Dahası, yemek yapıyorsanız, uygulamacı bir kimyacısınız demektir! Mutfakta kazandığımız deneyimlerden, yağ ile suyun karışmayacağını ve ocak üzerinde kaynamakta olan suyun buharlaşacağını bilirsiniz. Ekmeği mayalandırmak için kabartma tozu kullanırken, kısa sürede çorba hazırlamak için bir düdüklü tencere seçerken, rostoya et yumuşatıcısı eklerken, dilimlenmiş armudun renginin kararmasını önlemek için veya balığın kokusunu en aza indirmek için üzerine



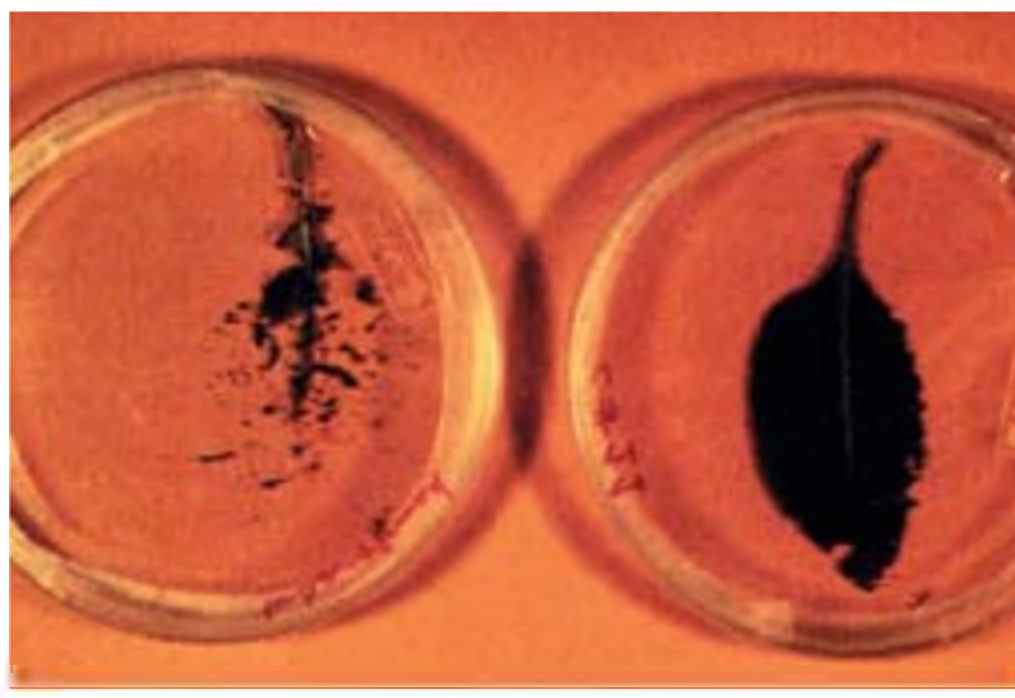
(a)



(b)



(c)

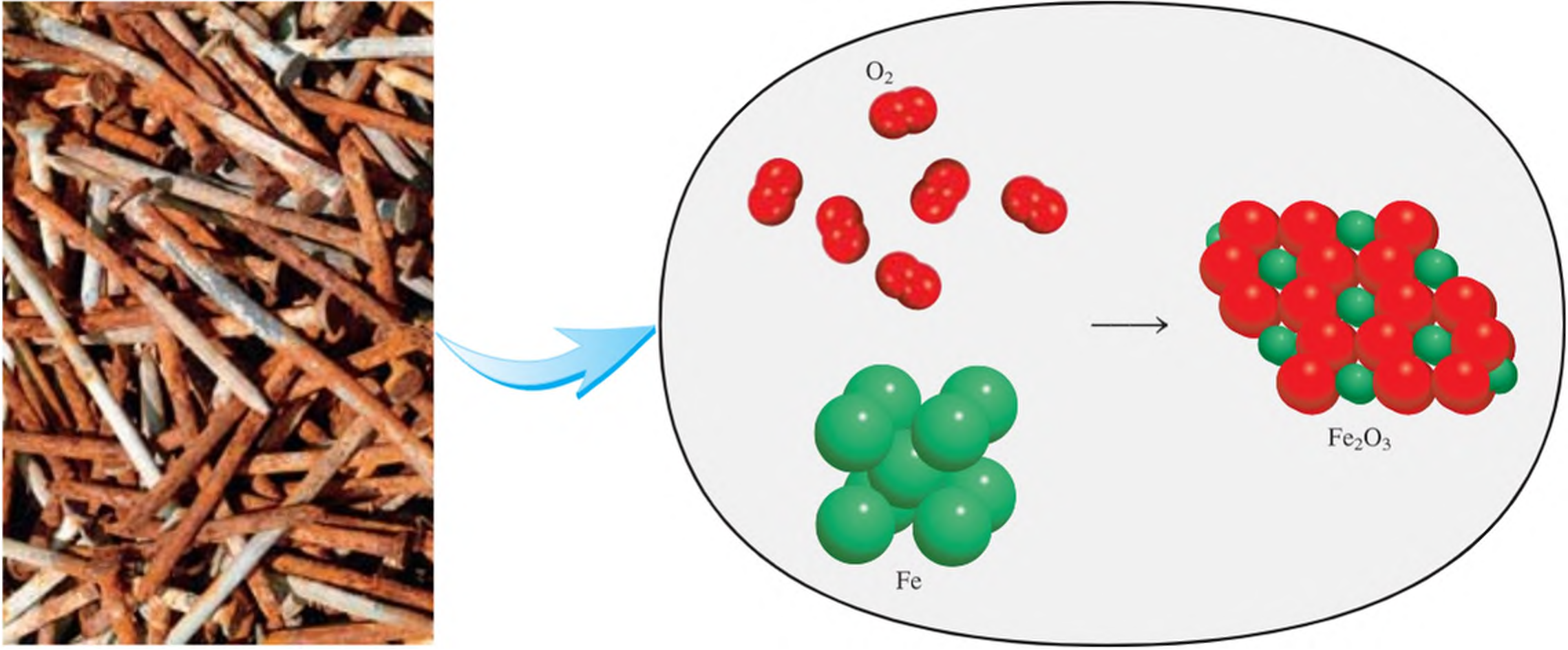


(d)

Şekil 1.1 (a) Bir otomatik DNA dizinim cihazından alınan çıktı. Farklı renklerle gösterilen her bir şerit ayrı bir DNA örneği ile elde edilen dizinimi göstermektedir. (b) Güneş pilleri (c) Bir silisyum devre levhasının işlenişi (d) Soldaki yaprak genetik yapısı değiştirilmemiş olan bir tütün bitkisinden alınmış olup boynuz solucanlarına maruz kalmıştır. Sağdaki yaprak ise genetiği değiştirilmiş bir tütün bitkisinden alınmış olup, solucanların saldırısına çok az uğramıştır. Aynı teknik diğer bitki türlerinin yapraklarını korumak amacıyla da uygulanabilir.

limon suyu sıkarken ve yumurta haşlarken suya sirke ilave ederken kimyasal ve fiziksel ilkeleri uygularsınız. Her gün, kimyasal yapılarını düşünmeksizin bu tür değişimleri gözlemliyoruz. Bu dersin amacı, görebildiğimiz, dokunabildiğimiz ve doğrudan ölçebildiğimiz şeyleri içeren *makroskopik dünyaya* bakmanız ve modern teknoloji ile hayal gücünüz olmaksızın deneyim kazanamayacağınız *mikroskopik dünyanın* tanecik ve olaylarını gözünüzde canlandırabilmeniz için bir kimyacı gibi düşünmenizi sağlamaktır.

Bazı öğrenciler ilk günlerde kimya öğretmenlerinin ve ders kitaplarının makroskopik ve mikroskopik dünyalar arasında sürekli ileri geri gider gibi davranmalarını kafa karıştırıcı bulabilirler. Kimyasal araştırmalar için verilerin çoğunlukla büyük ölçekli olaylardan elde edildiğini, ancak açıklamaların sıklıkla atom ve moleküllerin görülmeyen ve kısmen hayali mikroskopik dünyalarında yapıldığını göz önünde bulundurun. Başka bir deyişle, kimyacılar sıklıkla makroskopik dünyada bir şey *görür* ve diğerlerini mikroskopik dünyada *düşünürler*. Şekil 1.2'deki paslı çivilere bakıldığında, örneğin, bir kimyacı demir atomlarının ayrı ayrı temel özelliklerini düşünebilir. Gözlenen bu değişimi açıklayabilmek için atomların diğer atom ve moleküllerle nasıl etkileştiğini düşünebilir.



Şekil 1.2 Demir (Fe) atomları ve oksijen (O_2) moleküllerinden pas (Fe_2O_3) oluşumunun basitleştirilmiş bir moleküler görünümü. İşlem, gerçekte su gerektirir ve pas su moleküllerini de içerir.

1.3 Bilimsel Yöntem

Sosyal bilimlerde de dahil olmak üzere, tüm bilim alanlarında, değişimlerin izlenmesinde *araştırma için sistematik bir yaklaşım olan bilimsel yöntem* uygulanır. Örneğin, sesin insanların kimya öğrenme yetisini nasıl etkilediğini bilmek isteyen bir psikolog ve hidrojen gazının havada yanması durumunda açığa çıkan ısıyı ölçülmesi ile ilgilenen bir kimyacı, araştırmalarını yürütmek için aşağı yukarı aynı basamakları takip ederler. Her ikisinde de ilk adım, sorunun dikkatli bir şekilde belirlenmesidir. Takip eden adımda, inceleme altına alınan ve adına sistem denilen evren parçası ile ilgili deneyler ve dikkatli gözlemler yapılır, bilgiler ya da *veriler* kaydedilir. (Bu örneklerde psikoloğun çalıştığı sistem bir grup insan iken, kimyacının çalıştığı sistem hidrojen ile hava karışımıdır.)

Bir araştırmada elde edilen veriler *sistem hakkındaki genel gözlemlerden oluşan nitel* değerler olabileceği gibi, *nicel* yani *sistemin çeşitli ölçümleri sonucunda elde edilen sayısal* değerler de olabilir. Kimyacılar, ölçme sonuçlarını ve gözlemlerini kaydederken çoğunlukla standart semboller ve eşitlikler kullanırlar. Bu gösterim şekli, sadece kayıtların tutulma sürecini basitleştirmez, aynı zamanda diğer kimyacılarla iletişim için ortak bir temel oluşturur.

Deneyler tamamlandıktan sonra veriler kaydedildikten sonra, bilimsel yöntemdeki bir sonraki adım sonuçların yorumlanması, yani bilim insanının gözlemlediği olayı açıklamasıdır. Araştırmacılar, *bir gözlem kimesi için geçici bir açıklama yapmak üzere*, toplanmış olduğu verilere dayalı bir *hipotez* oluştururlar. Hipotezin geçerli kılınması için mümkün olduğunca çok sayıda ilave deneyler tasarlanır ve süreç yeniden başlar. Şekil 1.3'te bir araştırma sürecinin ana adımları özetlenmiştir.

Yeterli miktarda veri toplandıktan sonra elde edilen bilgiler kısa ve öz bir şekilde, bir yasa olarak özetlenir. Bilimde bir *yasa*, *olaylar arasındaki bir ilişkinin özelliği söz veya matematiksel bir ifadesi olup, aynı şartlar altında her zaman aynıdır*. Örneğin, lise fen derslerinden hatırlayacağımız, Sir Isaac Newton'un ikinci hareket



Şekil 1.3 Kimya ve kimya ile ilgili konuların çalışılması üç aşamalıdır. Gözlem, makroskopik dünyadaki olaylarla ilgilidir, atomlar ve moleküller mikroskopik dünyayı oluşturur. Temsil, Bir deneyi simgeler ve kimyasal eşitlikler yardımıyla ifade edebilmek için yapılan bir bilimsel kısaltmadır. Kimyacılar gözlemledikleri bir olayı açıklamak için atom ve moleküllerle ilgili bilgilerini kullanırlar.

yasasında kuvvetin kütle ile ivmenin çarpımı ($F = ma$) olduğunu söylediği gibi. Bu yasanın anlamı, her zaman için bir maddeye etki eden kuvvet, kütle ya da ivmenin artması ile orantılı olarak artar, aynı şekilde kütle ve ivmenin azalması ile azalır.

Hipotezler, birçok deneysel çalışmalardan sonra geçerliliği saptanarak kuramlar haline getirilir. **Kuram**, herhangi bir olay ve/veya bu olayın temelini oluşturan yasalara ilgili belirli bir ilkeyi açıklar. Kuramlar da devamlı test edilmelidir. Eğer bir kuramın doğru olmadığı deneylerle gösterilirse, ya bu kuramdan vazgeçilmeli ya da düzeltilerek deneysel gözlemlerle uyumlu hale getirilmelidir. Bir kuramın doğrulanması ya da yalanlanması yıllar alabileceği gibi, gerekli teknolojinin yeterli olmaması halinde asırlarca da sürebilir. Bölüm 2’de üzerinde duracağımız “atom kuramı” buna bir örnektir. Kimyanın temel ilkelerini belirleyen bu kuramın Yunanlı bir düşüncü olan Democritus tarafından ileri sürülmesinden doğrulamasına kadar geçen süre 2000 yıldan fazladır. Daha güncel bir örnek, Sayfa 6’da tartışılmış olan, evrenin oluşumuna ilişkin Büyük Patlama kuramıdır.

Bilimsel gelişmeler, çok seyrek olarak kuralına uygun bir şekilde adım-adım olur. Bazen bir yasa bir kuramın gelişmesini sağlarken bazen de tersi olur. İki bilim insanı tamamen aynı amaca yönelik bir konu üzerinde çalışmaya başlayıp, sonunda büyük ölçüde farklı yaklaşımlara varabilirler. Bilim insanları da her şeyden önce insandır. Çalışma ve düşünme tarzları, kendi alt yapıları, eğitimleri ve kişiliklerinden büyük oranda etkilenir.

Bilimdeki gelişmeler düzensizdir ve hatta bazen mantıksızdır. Bir kuram ya da yasa’nın son şekli bir kişiye mal edilse bile, büyük buluşlar genel olarak değişik araştırmacıların katkıları ve gene birçok araştırmacının deneyimlerinin birikimi ile ortaya çıkar. Şüphesiz, bilimsel buluşlarda şans faktörü de önemlidir, ancak “şans akıldan yanadır” uyanık ve iyi eğitilmiş bir kişi tesadüfen ortaya çıkan buluşların önemini kolayca kavrayıp, buluşa ait tüm avantajları elde eder. Halk çoğunlukla, sadece çarpıcı bilimsel başarıları öğrenir ve bunun sonuçlarını kullanır. Çok bilinen yüzlerce başarılı öykü için, bilim insanları yıllarca çalışarak bu sonuçlara ulaşmışlardır. Çoğu olumlu gelişmeler pek çok hatadan dönülerek elde edilmiş, bu gelişmeler küçük adımlarla sessizce ilerlemiştir. Şimdi bile evren hakkındaki bilgimin sürekli olarak artmasına bağlı olarak sonuca ulaşıldığı düşünülen konulara, hala katkılar yapılmaktadır. Araştırma aşkı, birçok bilim insanını laboratuvarlarda tutmaya yetmektedir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki cümlelerden hangisi doğrudur?

- (a) Bir hipotez daima bir yasa ile sonuçlanır.
- (b) “Bilimsel yöntem” sorunların çözümünde sıkı bir şekilde uygulanan adımlar dizisidir.
- (c) “Bir yasa” bir seri deneysel gözlemin özetidir. “Bir kuram” ise gözlemler için bir açıklama getirir.

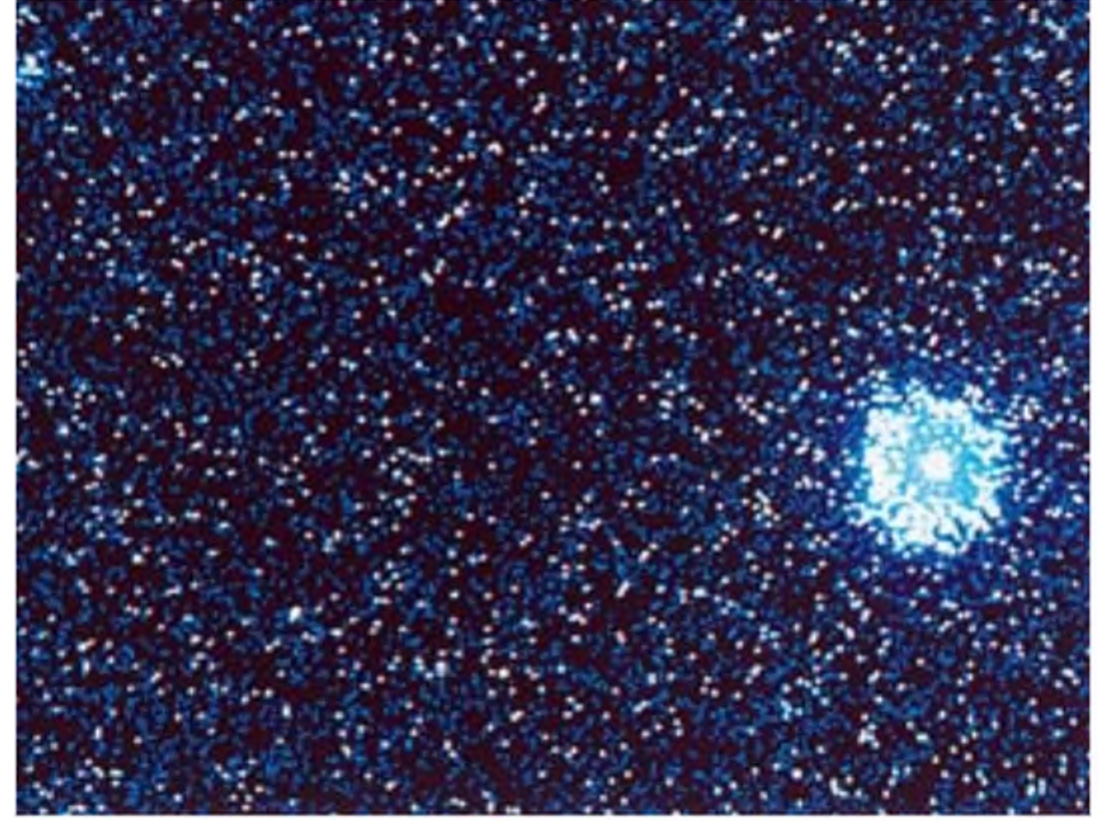
İlk Helyum ve Büyük Patlama Kuramı

Biz nereden geldik? Evren nasıl oluştu? İnsan düşünebildiği sürece bu soruları hep sormuştur. Cevapların aranması ise bilimsel yöntem için bir örnek oluşturmıştır.

1940 yılında Rus-Amerikan fizikçi George Gamow evrenin milyonlarca yıl önce devasa bir patlama veya *Büyük Patlama* ile meydana geldiğini önerdi. İlk evrelerinde evren küçüktük bir hacme sahipti ve inanılmaz sıcaktı. Mikroskopik boyuttaki madde tanecikleri ile karışmış radyasyondan oluşan bu ateş topu, atomları oluşturmak üzere yavaş yavaş soğudu. Çekim etkisi altındaki atomlar, bizim Samanyolu galaksimiz de dahil olmak üzere milyonlarca galaksi oluşturmak üzere, birbirleriyle bir araya geleerek kümeleştiler.

Gamow'un fikri ilginç ve son derece kışkırtıcıydı. Bu kuram değişik yollarla deneysel olarak test edildi. İlk yapılan ölçümler evrenin genişlemekte olduğunu gösterdi. Yani galaksiler yüksek hızlarda birbirlerinden uzaklaşacak şekilde hareket etmekteydi. Bu gerçek evrenin bir patlama sonucu oluşumu ile örtüşmektedir. Filmi tersine oynatıyormuş gibi patlamayı geriye dönük hayal ettiğimizde, astronomlar evrenin yaklaşık 13 milyar yıl önce oluştuğu sonucuna vardılar. Gamow'un hipotezini destekleyen ikinci gözlem, *kozmetik ana ışıması*nın tespit edilmesidir. Milyarlarca yıl boyunca kavurucu evren 3 K'e (-270°C 'a) kadar soğudu! Bu sıcaklıkta, enerjinin büyük bir kısmı mikrodalga bölgesine karşılık gelir. Büyük Patlama evreni oluşturan bu küçüktük hacmin her yerinde aynı anda olduğundan, ortaya çıkan ışınlar evrenin her tarafını kaplamış olmalıdır. Bu sebeple, gözlediğimiz her yönde ışınlar aynı olmalıdır. Gerçekte de, astronomlar tarafından kaydedilen mikrodalga sinyalleri yönden *bağımsızdır*.

Gamow'un hipotezini destekleyen üçüncü bir kanıt başlangıçta var olan kökensel helyumun keşfidir. Bilim insanları helyum ve hidrojenin (en hafif elementler) kozmik evrimin erken dönemlerinde oluşan ilk elementler olduğuna inanırlar. Karbon, azot ve oksijen gibi daha ağır elementlerin, daha sonraları hidrojen ve helyum içeren nükleer tepkimelerle yıldızların merkezinde oluştuğu düşünülür. Eğer böyleyse, hidrojen ve helyum gazları pek çok galaksinin oluşumundan önce evrene yayılmış olmalıydı. 1995'te astronomlar çok uzakta olan ve radyo dalgaları gönderen gök cisiminden (*kuasar*; yani evrenin kenarında patladığı düşünülen, çok



Kuasar'ın konumu da dahil olmak üzere, bazı uzak galaksilerin renkli bir fotoğrafı

güçlü ışık ve radyo sinyali gönderen galaksi) gelen mor ötesi ışınları analiz ettiler ve ışının bir kısmının Dünya'ya doğru olan doğrultudaki helyum atomları tarafından soğurulduğunu buldular. Bu kuasar 10 milyar ışık yılından (bir ışık yılı, ışık tarafından bir yılda kat edilen yoldur) daha fazla uzaklıkta olduğundan, Dünyaya ulaşan ışık 10 milyar yıl önce gerçekleşen olayları ortaya koymaktadır. Peki, niçin daha fazla miktarda hidrojen tespit edilmemiştir? Bir hidrojen atomu sadece bir elektrona sahiptir ve bu elektron, kuasar'dan gelen ışınlarla *iyonlaşma* diye bilinen işlemle hidrojenen uzaklaştırılır. İyonlaşmış hidrojen atomu kuasar'dan gelen hiçbir ışını soğuramaz. Öte yandan, bir helyum atomu iki elektrona sahiptir. Işın helyum atomunun bir elektronunu uzaklaştırabilir ancak her ikisini de uzaklaştırması zordur. Tek elektronunu kaybederek iyonlaşmış helyum atomları hala ışın soğurabilir ve bu yüzden tespit edilebilirler.

Gamow'un açıklamalarını destekleyenler evrenin derinliklerinden ulaşan helyumun tespit edilmesinden hoşnut oldular. Bilim insanları, Gamow'un hipotezini ileri sürülen kanıtlarıyla birlikte "Büyük Patlama Kuramı" olarak adlandırmaktadırlar.

1.4 Maddenin Sınıflandırılması

Kısım 1.1'de kimyayı madde ve maddenin uğradığı değişiklikleri inceleyen bilim dalı olarak tanımlanmıştı. *Kütlesi olan ve uzayda yer kaplayan her hangi bir şey madde*'dir. Madde su, toprak ve ağaç gibi hem görebildiğimiz ve dokunabildiğimiz, hem de hava gibi göremediğimiz ve dokunamadığımız şeyleri içerir. Yani, evrendeki her şeyin "kimya" ile bir bağı vardır.

Kimyacılar maddeyi bileşimi ve özelliklerini esas alarak çeşitli alt gruplara ayırırlar. Saf maddeler, karışımlar, elementler ve bileşiklerin yanında atom ve moleküller de dahil olmak üzere maddenin sınıflandırılması Bölüm 2’de verilecektir.

Saf Maddeler ve Karışımlar

Saf madde, belirli veya sabit bir bileşimi olan ve kendine özgü özellikleri ile ayırt edilebilen maddenin bir şeklidir. Örneğin su, amonyak, sofr şeker (sakaroz), altın ve oksijen saf maddedir. Saf maddeler bileşim olarak birbirlerinden farklıdır ve görüntüleri, kokuları, tatları ve diğer özellikleri ile tanımlanırlar.

Karışım, her bir saf maddenin kendi özelliğini koruduğu iki ya da daha fazla saf maddenin bir araya gelmesi ile oluşur. Hava, meşrubat, süt ve çimento aşına olduğumuz bazı örneklerdir. Karışımların sabit bir bileşimi yoktur. Bu nedenle, farklı kentlerden alınan hava örneklerinin bileşimi, örneğin alındığı yerin yüksekliği, kirliliği vb. farklılıklardan dolayı muhtemelen farklı olacaktır.

Karışımlar homojen ya da heterojen olabilir. Bir kaşık şeker suda çözüldüğünde, karışımın bileşimi her tarafında aynı olan bir **homojen karışım** elde edilir. Diğer taraftan, kum ile demir tozları karıştırılırsa, kum taneleri ile demir tozları görülebilir halde ayrı ayrı kalırlar (Şekil 1.4). Bu tür karışım, *bileşimi her yerinde aynı olmaması* nedeniyle **heterojen karışım** olarak adlandırılır.

Her hangi bir karışım, homojen ya da heterojen olsun, kolayca oluşturulabilir ve bileşenlerin özelliklerinde bir değişiklik olmaksızın, fiziksel yöntemlerle saf bileşenlerine tekrar ayrılabilir. Örneğin, ısıtılıp kuruluğa kadar buharlaştırılan sulu çözeltisinden şeker geri kazanılabilir. Daha sonra su buharı da yoğunlaştırılarak karışımın su bileşeni de geri kazanılır. Demir-kum karışımında, kum mıknatıstan etkilenmediğinden, demiri kumdan ayırmak üzere mıknatıs kullanılır (Şekil 1.4b’ye bakınız). Ayırma işleminden sonra, karışımın bileşenleri başlangıçtaki ile aynı bileşim ve özelliklere sahip olmaktadır.

Elementler ve Bileşikler

Saf bir madde element ya da bileşik olabilir. Eğer *saf madde kimyasal yöntemlerle daha basit bileşenlerine ayrılamiyorsa, bu madde bir element tir*. Bu güne kadar 118 element tam olarak tanımlanmıştır. Bu elementlerin çoğu yeryüzünde doğal olarak bulunmaktadır. Diğerleri ise, bilim adamları tarafından Bölüm 19’da konu edilen nükleer işlemler ile oluşturulur.



(a)



(b)

Şekil 1.4 (a) Karışım, demir tozu ve kum içermektedir. (b) Mıknatıs demir tozlarını karışımından ayırır. Aynı teknik, alüminyum, cam ve plastik gibi manyetik özelliği olmayan maddelerden demir ve çeliğin ayrılması amacıyla büyük ölçekli sistemlere de uygulanabilir.

Çizelge 1.1 Çok Bilinen Bazı Elementler ve Simgeleri

Adı	Simgesi	Adı	Simgesi	Adı	Simgesi
Altın	Au	Flor	F	Kurşun	Pb
Alüminyum	Al	Fosfor	P	Kükürt	S
Arsenik	As	Gümtüş	Ag	Magnezyum	Mg
Azot	N	Hidrojen	H	Mangan	Mn
Bakır	Cu	İyot	I	Nikel	Ni
Baryum	Ba	Kalsiyum	Ca	Oksijen	O
Bizmut	Bi	Kalay	Sn	Platin	Pt
Brom	Br	Karbon	C	Potasyum	K
Cıva	Hg	Klor	Cl	Silisyum	Si
Çinko	Zn	Kobalt	Co	Sodyum	Na
Demir	Fe	Krom	Cr	Tungsten	W

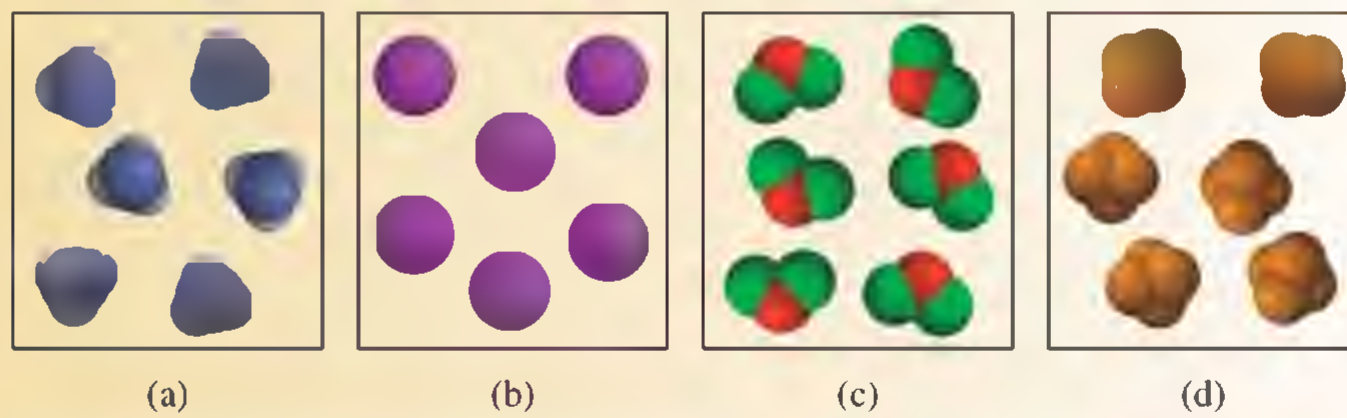
Kimyacılar, kolaylık sağlamak amacıyla, elementleri temsil etmek üzere tek veya iki harfli simgeler kullanırlar. Elementi gösteren simgenin ilk harfi *daima* büyük, ikincisi ise küçük yazılır. Örneğin Co, kobalt elementinin simgesi iken, CO, karbon monoksit molekülünün formülüdür. Çizelge 1.1’de çok bilinen bazı elementlerin adları ve simgeleri gösterilmiştir. Elementleri ve simgelerini içeren tam liste bu kitabın ön kapağının iç sayfasında verilmiştir. Bazı elementlerin simgeleri Latince isimlerinden türetilmiştir. Örneğin Au, *aurum* (altın) dan, Fe, *ferrum* (demir) dan ve Na, *natrium* (sodyum) dan türetilirken, bazı simgeler de İngilizce isimlerinden gelmektedir. Elementlerin isimlerinin kökeni ve keşfeden kişilerin isimlerini içeren bir liste Ek 1’de verilmiştir.

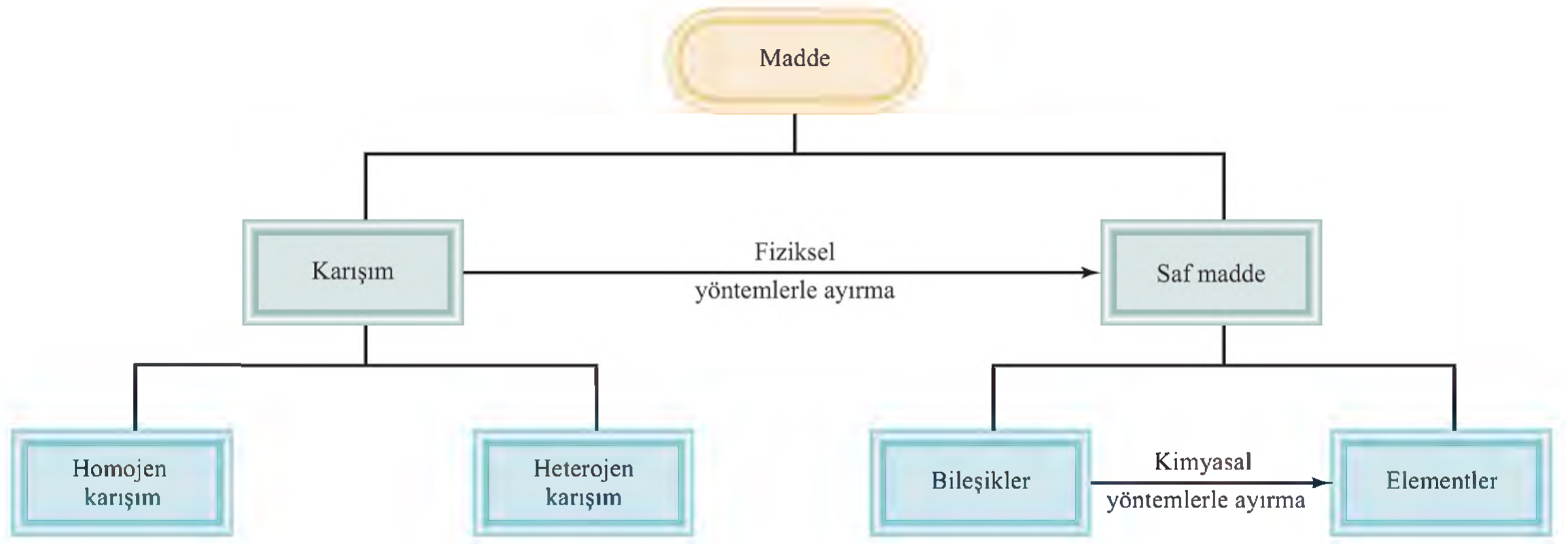
Pek çok elementin atomları bileşik oluşturmak üzere başka element atomları ile etkileşebilir. Örneğin, hidrojen gazı oksijen gazı ile yanarak suyu oluşturur. Suyun özellikleri çıkış maddeleri olan oksijen ve hidrojenden tamamen farklıdır. Su, iki kısım hidrojen ile bir kısım oksijenin birleşmesinden oluşur. İster Birleşik Devletler’deki bir musluktan, ister Moğalistan’daki bir gölden ister Mars’taki bir buz kapsülünden alınmış olsun su bileşimi değişmez. Bu sebeple, su bir **bileşiktir**. Bir **Bileşik**, *iki ya da daha çok elementin atomlarının sabit oranlarda kimyasal olarak birleşmesiyle oluşan saf maddedir*. Karışımların aksine, bileşikler sadece kimyasal yollarla kendisini oluşturan saf bileşenlerine ayrılabilirler.

Element, bileşik ve maddenin diğer sınıfları arasındaki ilişkiler Şekil 1.5’de özetlenmiştir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda verilen şekillerden hangisi elementleri, hangisi bileşikler yansıtmaktadır? Her farklı renkteki küre veya kesik küre bir atomu temsil eder.



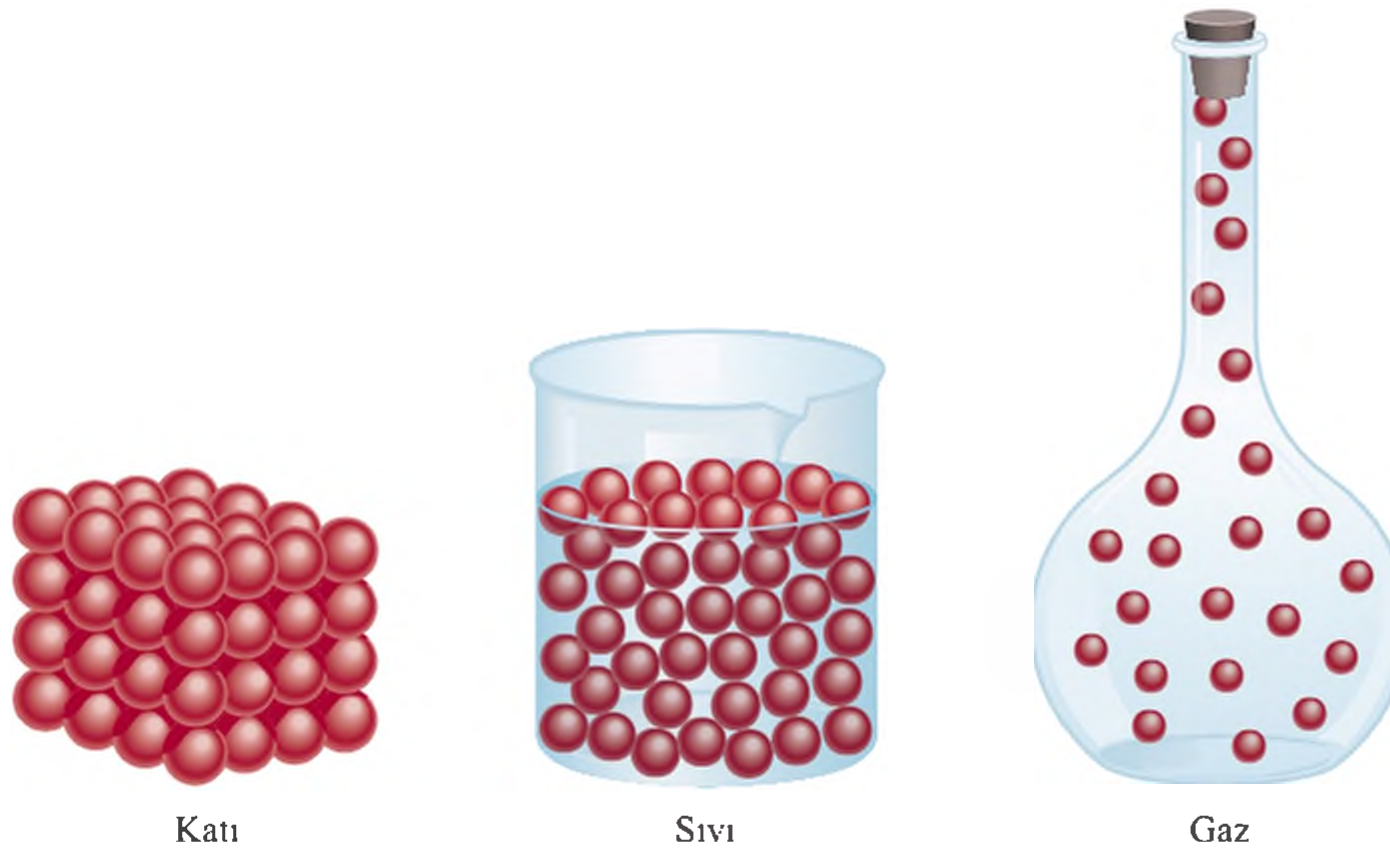


Şekil 1.5 Maddenin sınıflandırılması

1.5 Maddenin Üç Hali

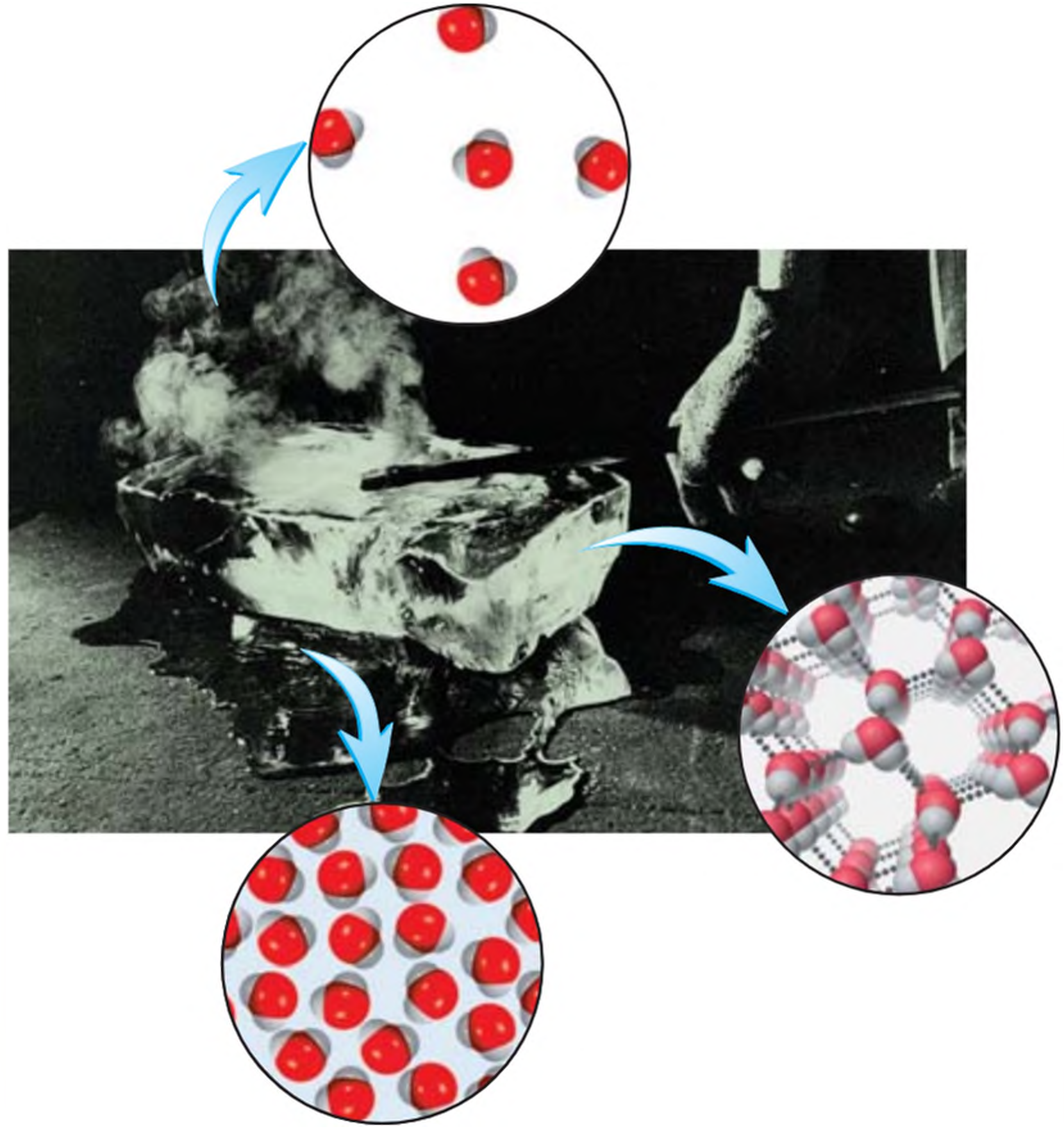
Tüm saf maddeler, en azından ilke olarak üç halde bulunabilir; katı, sıvı ve gaz. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi, moleküller arasındaki mesafeler bakımından gazlar, sıvı ve katılardan farklıdır. Bir katıda, moleküller çok az serbestliğe sahiptir ve düzenli bir şekilde birbirine yakın bulunurlar. Bir sıvıdaki moleküller birbirlerine yakın ancak sıkı sıkıya bağlı olmadan, uygun konumda bulunurlar ve birbirleri üzerinden akabilirler. Bir gazda moleküller, büyüklükleri ile karşılaştırıldığında birbirleriyle büyük mesafelerle ayrılmış durumdadır.

Bir maddenin üç hali, maddenin bileşimi değişmeksizin birbirine dönüşebilir. Bir katı, örneğin buz, ısıtıldığında bir sıvı (su) oluşturmak üzere erir. Bu değişimin meydana geldiği sıcaklık *erime noktası* olarak adlandırılır. Diğer taraftan, bu gazın soğutulması onun yoğunlaşarak sıvı hale geçmesine neden olur. Oluşan sıvı daha da soğu-



Şekil 1.6 Bir katı, bir sıvı ve bir gazın mikroskopik görünümü.

Şekil 1.7 Maddenin üç hali.
Sıcak bir demirin, buzu ısıtarak su
ve buhara dönüştürmesi.



tulursa donarak katılaşır. Şekil 1.7 suyun üç halini göstermektedir. Sıvı haldeki su molekülleri katı haldekine göre daha sıkı istiflenmiştir. Bu durumun yaygın olarak bilinen maddeler arasında suyun özelliklerini benzersiz kıldığına dikkat ediniz.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bir buz küpü kapalı bir kaba yerleştirilir. Buz küpü ısıtma ile önce erir ve su oluşur, daha sonra kaynar ve sonunda buharlaşır. Buna göre, aşağıdaki cümlelerden hangisi doğrudur?

- (a) Suyun fiziksel görüntüsü her bir hal değişimi basamağında farklıdır.
- (b) Suyun kütlesi buz halindeyken en fazla, buhar halindeyken en azdır.

1.6 Maddenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Saf maddeler bileşimleri ile olduğu kadar kendilerine özgü özellikleri ile de ayırt edilebilirler. Renk, erime noktası ve kaynama noktası birer fiziksel özelliktir. Bir **fiziksel özellik**, maddenin kimliği veya bileşimi değiştirilmeden incelenebilir ya da ölçülebilir. Örneğin, bir buz kütlesini ısıtıp suya dönüştürmesini sağlarken sıcaklık değişimini

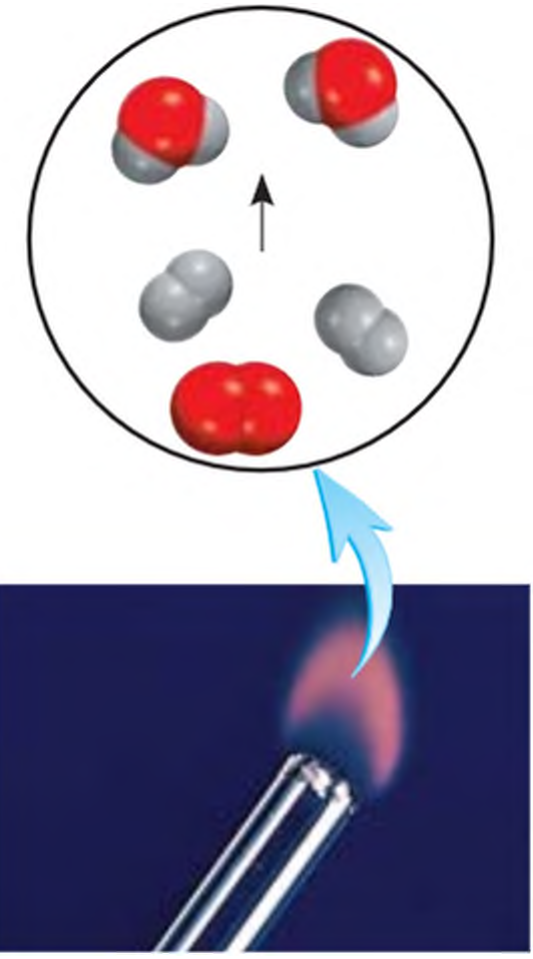
kaydetmek suretiyle buzun erime noktasını ölçebiliriz. Su sadece görüntü olarak buzdan farklıdır ancak bileşim olarak bir farklılık yoktur. Bu bir fiziksel değişimdir ve su dondurularak tekrar buz haline dönüştürülebilir. Bu nedenle, bir maddenin erime noktası fiziksel bir özelliktir. Benzer şekilde, helyum gazının havadan hafif olduğunu söylerken maddelerin fiziksel özelliklerini karşılaştırıyoruz demektir.

Diğer taraftan, “hidrojen gazı oksijen gazı ile su oluşturmak üzere yanar” ifadesi hidrojenin bir **kimyasal özelliği**ni belirtir. Çünkü *bu özelliğin gözlemlenmesi için kimyasal bir değişim olması gerekir*. Bu değişim yanmadır. Değişimden sonra, başlangıçtaki saf madde yani hidrojen gazı ortadan yok olmuş ve geride farklı bir kimyasal madde olan su kalmıştır. Kaynama ve donmada olduğu gibi, bu olayda fiziksel değişimleri uygulayarak hidrojeni geri kazanmanız mümkün değildir.

Yumurtanın suda kaynatılmasıyla yumurtada kimyasal bir değişim gerçekleştirilir. Sıcaklık 100°C dolayına getirildiğinde, yumurtanın hem sarısı hem de akı sadece fiziksel görüntülerini değil, aynı zamanda kimyasal yapılarını da değiştirirler. Yumurta yenildiğinde, vücutta bulunan ve *enzim* olarak adlandırılan maddelerle etkileşerek tekrar değişime uğrar. Bu sindirim hareketi kimyasal değişime başka bir örnektir. Sindirim sırasında olanlar, enzim ve besinlerin kimyasal özelliklerine bağlıdır.

Maddenin ölçülebilir bütün özellikleri, kapasite ve şiddet özellikleri denilen gruplardan birisinde yer alır. **Kapasite özelliği**'nin ölçülen değeri, söz konusu maddenin ne kadarının dikkate alındığına, yani miktarına bağlıdır. **Kütle**, bir saf maddenin söz konusu olan örneğinde bulunan miktarıdır ve bir kapasite özelliğidir. Daha fazla madde daha fazla kütle demektir. Aynı kapasite özelliğine sahip değerler birbiri ile toplanabilir. Örneğin, iki tane bakır paranın kütlesi her bir bakır paranın kütleleri toplamıdır. İki tenis kortunun uzunluğu toplamı, her bir tenis kortunun uzunluklarının toplamı kadardır. Bir küpün **hacmi**, *uzunluğun küptü* olarak tanımlanır ve bu da başka bir kapasite özelliğidir. Kapasite özelliğinin büyüklüğünün sayısal değeri madde miktarına bağlıdır.

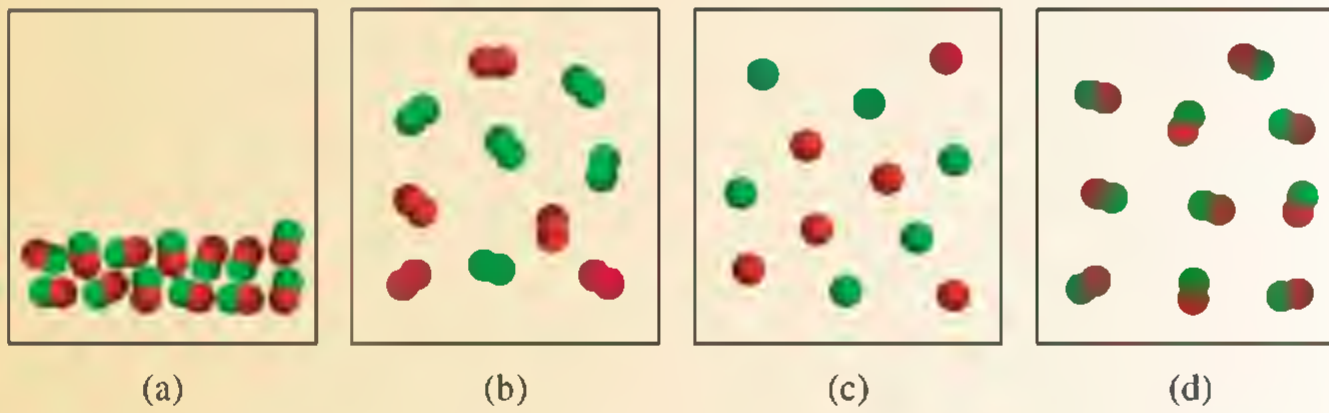
Şiddet özelliği'nin ölçülen değeri, *söz konusu maddenin miktarına bağlı değildir*. Bir cismin kütlesinin hacmine bölümü olarak tarif edilen **yoğunluk** bir şiddet özelliğidir. Sıcaklık da bir şiddet özelliğidir. Aynı sıcaklıkta iki tane su dolu beher alalım. Bu iki beherdeki suyu daha büyük bir beher içinde bir araya getirecek olursak, bir araya getirilmiş suyun sıcaklığı iki ayrı beherdeki suların sıcaklığı ile aynı olur. Kütle, uzunluk ve hacmin aksine, sıcaklık ve diğer şiddet özellikleri toplanamaz.



Hidrojen havada yanarak su oluşur.

Kavramların Değerlendirilmesi

Şekil (a)'da yeşil ve kırmızı küreciklerle gösterilen iki element atomlarından oluşan sıvı haldeki bir bileşik görülmektedir. Bu bileşiğe ait (b)-(d) şekillerinden hangisinde bir fiziksel değişim, hangisinde bir kimyasal değişim gösterilmiştir.



1.7 Ölçme

Kimyacılar hesaplamalarda, diğer ilgili büyüklükleri elde etmek amacıyla çoğunlukla ölçme sonuçlarını kullanır. Farklı aletler yardımıyla bir saf maddenin özelliklerini ölçebiliriz. Örneğin, metre ile uzunluk, büret, pipet, dereceli silindir ve ölçülü balon ile hacim (Şekil 1.8), terazi ile kütle ve termometre ile de sıcaklık ölçülür. Bu aletlerle **makroskopik özellikler**, yani doğrudan belirlenebilen özelliklerin ölçümü gerçekleştirilir. Atom ya da molekül düzeyindeki özellikler olan **mikroskopik özellikler**, Bölüm 2’de görüleceği gibi dolaylı yöntemlerle belirlenir.

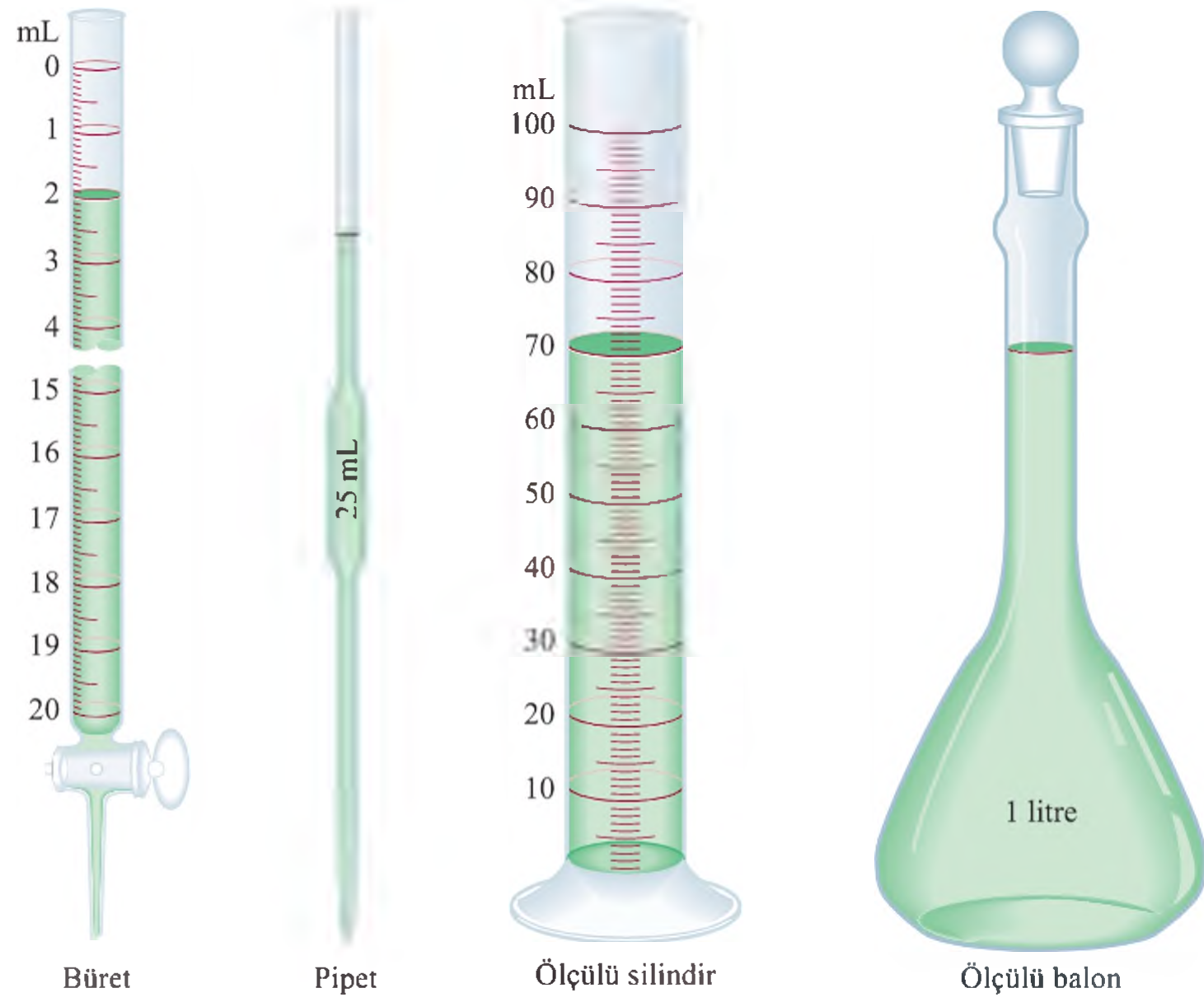
Ölçülen miktarlar çoğunlukla uygun birimdeki bir sayı ile verilir. Örneğin, belirli bir güzergahı takip edilerek araba ile New York ve San Francisco arasındaki uzaklığın 5166 olduğunu söylemenin hiçbir anlamı yoktur. İki kent arasındaki uzaklığın 5166 kilometre olduğunu belirtilmesi gerekir. Kimya için de aynı şey geçerlidir. Ölçme sonuçlarını doğru olarak ifade edebilmek için, birimlerini belirtmek zorunludur.

SI Birimleri

Bilim insanları uzun yıllar ölçme sonuçlarını *metrik birimlerle*, ondalıklarla yani 10’un kuvvetleri olarak kaydetmişlerdir. Ancak, 1960 yılında Ağırlık ve Ölçüler Genel Konferansında bir araya gelen, uzmanlar, **Uluslararası Birim Sistemi** (Fransızca *Système Internationale d’Unités*’ den SI olarak kısaltılmıştır) olarak adlandırılan, yeniden düzenlenmiş SI metrik sistemini önermişlerdir. Çizelge 1.2’de yedi adet temel SI birimi görülmektedir. Ölçüm sonuçlarının verildiği diğer birimler, bu temel birimlerden türetilir. Metrik birimler gibi, SI birimleri de, Çizelge 1.3’de gösterildiği gibi, 10’un kuvvetleri ile ifade edilebilir. Bu kitapta SI ve metrik sistemlerin her ikisi de kullanılmıştır.

Kimya alanındaki çalışmalarda, zaman, kütle, hacim, yoğunluk ve sıcaklık gibi ölçümler oldukça sık kullanılmaktadır.

Şekil 1.8 Kimya laboratuvarlarında yaygın olarak bulunan bazı ölçme aletleri. Gösterimler ölçekli değildir ve ölçme aletlerinin kullanımı Bölüm 4’te tartışılacaktır.



Çizelge 1.2 SI Temel Birimleri

Temel Nicelik	Birimin Adı	Simge
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik akımı	amper	A
Sıcaklık	kelvin	K
Madde miktarı	mol	mol
Işık şiddeti	kandil	cd

Çizelge 1.3 SI Birimleriyle Kullanılan Ön-ekler

Önek	Simge	Anlam	Örnek
tera-	T	1000000000000 veya 10^{12}	1 terametre (Tm) = 1×10^{12} m
ciga-	G	1000000000 veya 10^9	1 ciganetre (Gm) = 1×10^9 m
mega-	M	1000000 veya 10^6	1 megametre (Mm) = 1×10^6 m
kilo-	k	1000 veya 10^3	1 kilometre (km) = 1×10^3 m
desi-	d	1/10 veya 10^{-1}	1 desimetre (dm) = 0.1 m
santi-	c	1/100 veya 10^{-2}	1 santimetre (cm) = 0.01 m
mili-	m	1/1000 veya 10^{-3}	1 milimetre (mm) = 0.001 m
mikro-	μ	1/1000000 veya 10^{-6}	1 mikrometre (μ m) = 1×10^{-6} m
nano-	n	1/1000000000 veya 10^{-9}	1 nanometre (nm) = 1×10^{-9} m
piko-	p	1/1000000000000 veya 10^{-12}	1 pikometre (pm) = 1×10^{-12} m

Bir metrik ön-ekin, bir sayıyı gösterdiğine dikkat ediniz.

$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$



Ay yüzeyinde sıçrayan bir astronot

Kütle ve Ağırlık

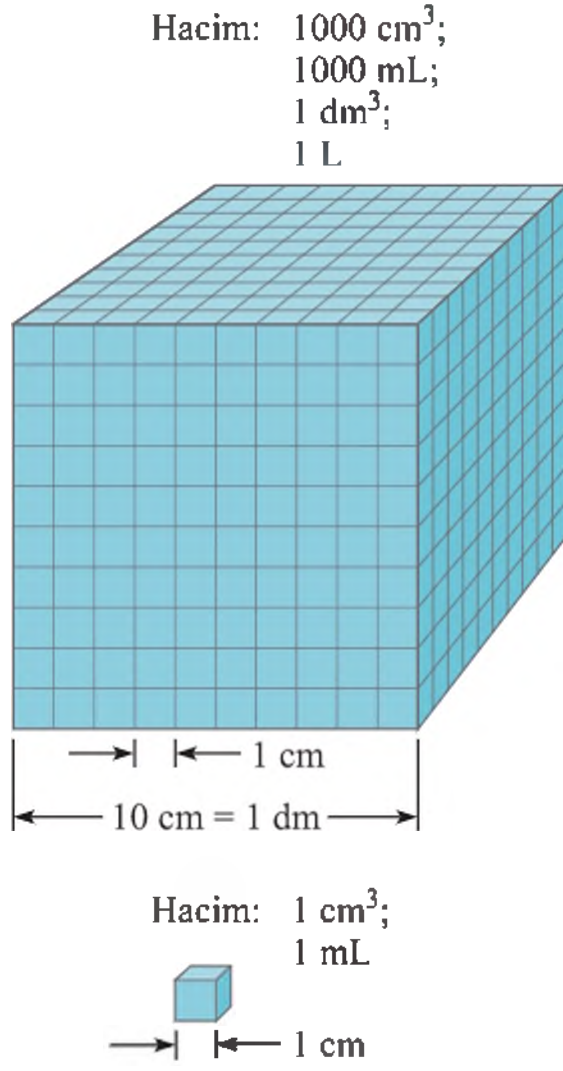
“Kütle” ve “ağırlık” terimleri çoğunlukla birbirinin yerine kullanılmasına rağmen, aslında, farklı niceliklerdir. Kütle bir cismin madde miktarının ölçüsüdür. Oysa bilimsel olarak **ağırlık**, bir cisim üzerine etkiyen yer çekimi kuvvetidir. Ağaçtan düşen bir elmayı aşağıya doğru çeken de Dünya’nın yer çekimi kuvvetidir. Elmanın kütlesi sabittir ve elmanın bulunduğu yere bağlı değildir. Ancak ağırlık, cismin nerede olduğuna bağlıdır. Örneğin ay yüzeyinde bulunan bir elmanın ağırlığı, ayın çekim kuvvetinin Dünya’nın yerçekimi kuvvetinin sadece altıda biri olması nedeniyle, yeryüzündeki ağırlığının altıda biri kadardır. Ay’ın daha küçük bir çekim kuvvetine sahip olması, astronotların ay yüzeyinde, üzerlerinde ağır giysi ve cihazlar olduğu halde, sıçrayarak rahat bir şekilde hareket edebilmelerini sağlar. Kimyacılar öncelikle, bir terazi ile kolayca belirlenebilen kütle ile ilgilenirler. Kütlenin ölçüm işlemi ise *tartma* olarak adlandırılır.

Kütlenin SI temel birimi *kilogramdır* (kg). Araştırmacılarca her yerde tekrarlanabilecek doğal işlemlere dayanan uzunluk ve zaman birimlerinin tersine, kilogram belirli bir cisim referans alınarak tanımlanır (Şekil 1.9). Kimyada, kilogramın alt birimi olan *gram*’ın (g) kullanımı çoğu kez daha uygun olmaktadır.

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 1 \times 10^3 \text{ g}$$



Şekil 1.9 Fransa, Sevr kentinde bulunan uluslararası Ağırlık ve Ölçüler Bürosunda bir kasada saklanan kilogramın aslı platin-iridyum alaşımından yapılmıştır. 2007 yılında alaşımın gizemli bir şekilde yaklaşık 50 μ g hafiflediği keşfedildi!



Şekil 1.10 İki hacmin karşılaştırılması. 1 mL ve 1000 mL'nin karşılaştırılması

Hacim

SI uzunluk birimi *metre* (m)'dir. Hacim için türetilmiş SI birimi ise *metre küptür* (m³). Ancak, kimyacılar çoğunlukla santimetre küp (cm³) ve desimetre küp (dm³) gibi daha küçük hacimlerle çalışırlar.

$$1 \text{ cm}^3 = (1 \times 10^{-2} \text{ m})^3 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = (1 \times 10^{-1} \text{ m})^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

SI birim sisteminde olmayan, ancak yaygın olarak kullanılan bir başka hacim birimi ise litredir (L). Bir *litre*, bir *desimetre küp*'ün kapladığı hacme eşittir. Bir litre, 1000 mililitre (mL) ya da 1000 cm³'e eşittir:

$$1 \text{ L} = 1000 \text{ mL}$$

$$= 1000 \text{ cm}^3$$

$$= 1 \text{ dm}^3$$

Bir mililitre bir santimetre küpe eşittir:

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$$

Şekil 1.10'da 1 mL ve 1000 mL'lik hacimlerin büyüklükleri bağül olarak karşılaştırılmıştır. Litre bir SI birimi olmamasına rağmen, hacimler litre ve mililitre cinsinden ifade edilir.

Yoğunluk

Yoğunluk için eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$\text{yoğunluk} = \frac{\text{kütle}}{\text{hacim}}$$

veya

$$d = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

Burada d , m ve V sırasıyla yoğunluk, kütle ve hacmi göstermektedir. Yoğunluğun bir şiddet özelliği olması ve mevcut maddenin kütle miktarına bağlı olmaması nedeniyle, söz konusu madde için kütle hacme oranı daima sabittir. Diğer bir deyişle, V arttığında m 'de artar. Yoğunluk çoğunlukla sıcaklıkla azalır.

Yoğunluk için türetilmiş SI birimi, metreküp başına kütledir (kg/m³). Bu birim pek çok kimyasal uygulama için son derece büyüktür. Bu nedenle, santimetre küp başına gram (g/cm³) ve bunun eşdeğeri olan mililitre başına gram (g/mL) birimleri, sıvı ve katı yoğunluklarını belirtmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Gaz yoğunlukları için, oldukça düşük olmaları sebebiyle, genellikle litre başına gram (g/L) birimi kullanılır.

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ g/mL} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ g/L} = 0.001 \text{ g/mL}$$

Çizelge 1.4'te bazı maddelerin yoğunlukları verilmiştir.

Çizelge 1.4

Bazı Maddelerin 25°C'deki Yoğunlukları

Madde	Yoğunluk (g/cm ³)
Hava*	0.001
Etanol	0.79
Su	1.00
Grafit	2.2
Tuz tableti	2.2
Alüminyum	2.70
Elmas	3.5
Demir	7.9
Cıva	13.6
Altın	19.3
Osmiyum [†]	22.6

*1 atmosferde ölçülmüştür

[†]Osmiyum (Os) bilinen en yoğun elementtir.

Örnek 1.1 ve 1.2 yoğunluk hesaplamalarına ilişkindir.

Örnek 1.1

Altın, kimyasal olarak tepkime vermeyen değerli bir metaldir. Esas olarak takı, diş ve elektronik cihazların yapımında kullanılır. Bir altın külçesi parçasının kütlesi 301 g ve hacmi 15,6 cm³ tür. Altının yoğunluğunu hesaplayınız.

Çözüm Kütle ve hacim verilmiş ve yoğunluğun hesaplanması istenmektedir. Buna göre, Eşitlik (1.1)'i kullanarak sonuç şöyle bulunur:

$$\begin{aligned} d &= \frac{m}{V} \\ &= \frac{301 \text{ g}}{15,6 \text{ cm}^3} \\ &= 19,3 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Alıştırma Yoğunluğu 21,5 g/cm³ olan bir platin metal parçasının hacmi 4,49 cm³ tür. Kütlesi nedir?

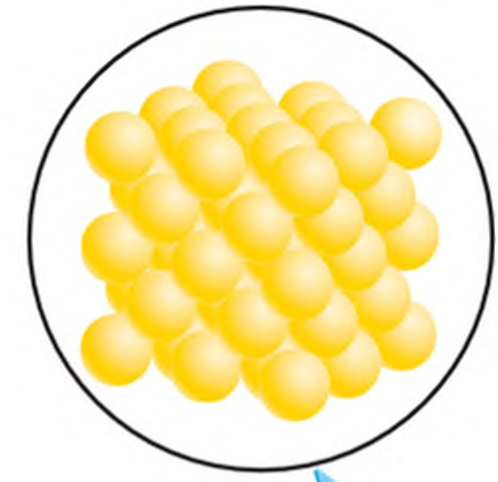
Örnek 1.2

Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan tek metal olan cıvanın yoğunluğu 13,6 g/mL'dir. 5,50 mL sıvının kütlesini hesaplayınız.

Çözüm Sıvının yoğunluğu ve hacmi verilmiş kütlesinin hesaplanması istenmektedir. Eşitlik (1.1)'i aşağıdaki gibi yeniden düzenleyerek sonuç bulunur:

$$\begin{aligned} m &= d \times V \\ &= 13,6 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 5,50 \text{ mL} \\ &= 74,8 \text{ g} \end{aligned}$$

Alıştırma Bir araba aküsündeki sülfürik asidin yoğunluğu 1,41 g/mL'dir. 242 mL sıvının kütlesini hesaplayınız.



Altın külçeler ve altın atomlarının katı fazda istiflenmesi

Benzer problemler: 1.21, 1.22.



Cıva.

Benzer problemler: 1.21, 1.22.

Sıcaklık Eşelleri

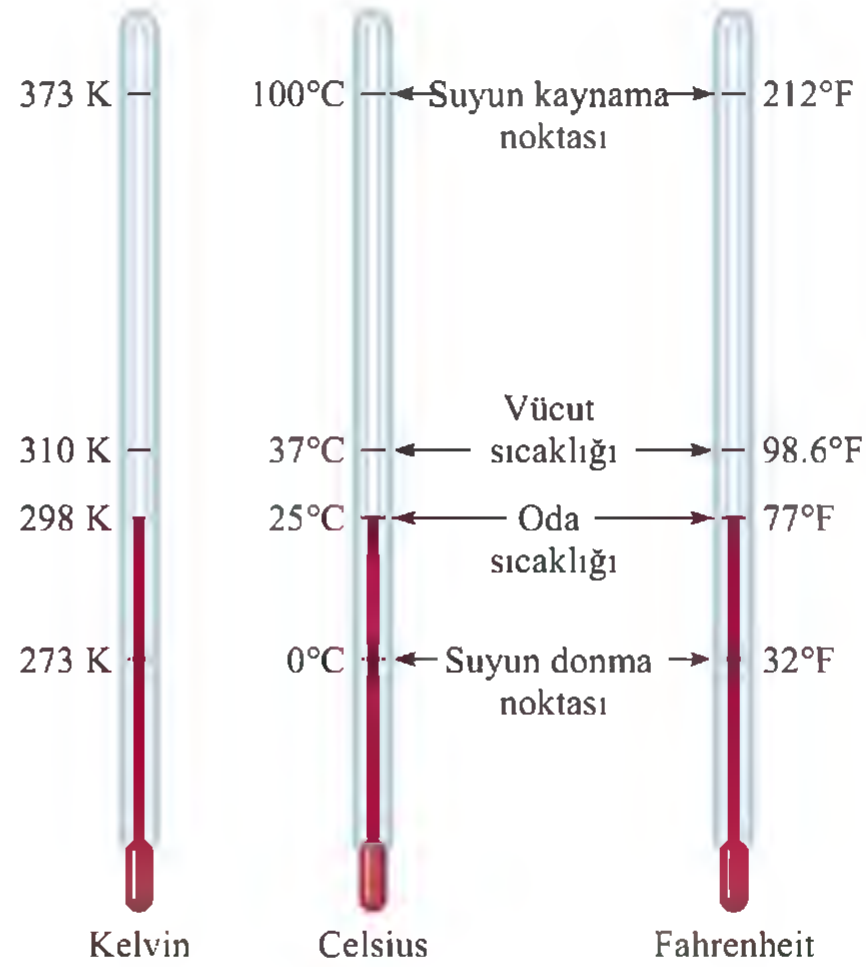
Üç sıcaklık eşeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların birimleri °F (Fahrenheit derecesi), °C (Celsius derecesi) ve K (Kelvin)'dir. Birleşik Devletlerde laboratuvar çalışmaları hariç en çok kullanılan sıcaklık eşeli Fahrenheit'dir. Bu sıcaklık eşeli, suyun normal donma ve kaynama noktaları sırasıyla 32°F ve 212°F alınarak tanımlanmıştır. Celsius eşelinde, suyun donma (0°C) ve kaynama noktaları (100°C) arası 100 kısma ayırarak derecelendirilmiştir. Çizelge 1.2'de gösterildiği gibi, *SI birim sisteminde sıcaklığın temel birimi Kelvin* olup bu eşel *mutlak sıcaklık eşelidir*. Bu eşele *mutlak* denilmesinin nedeni, Kelvin eşelinin 0 K olarak belirtilen başlangıç noktasının, kuramsal olarak ulaşılabilen en düşük sıcaklık değeri olmasıdır. Diğer taraftan, 0°F ve 0°C keyfi olarak seçilen suyun davranışları esas alınarak belirlenmiştir. Şekil 1.11'de üç sıcaklık eşeli karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Fahrenheit eşelindeki bir derecenin büyüklüğü, Celsius eşelindeki büyüklüğü sadece 100/180'i ya da 5/9'udur. Buna göre, Fahrenheit derecesini Celsius derecesine çevirmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}) \times \frac{5^{\circ}\text{C}}{9^{\circ}\text{F}} \quad (1.2)$$

Kelvin eşelinin derece işareti içermediğine dikkat ediniz. Ayrıca, kelvin cinsinden gösterilen sıcaklıklar asla eksi işaretli olamaz.

Şekil 1.11 Üç sıcaklık eşelinin karşılaştırılması: Celsius, Fahrenheit ve mutlak (Kelvin) sıcaklık eşelleri. Görüldüğü gibi, suyun donma ve kaynama noktaları arasında, Celsius eşelinde 100 bölme ya da 100 derece varken, aynı sıcaklık değerleri arasında Fahrenheit eşelinde 180 bölme ya da 180 derece bulunmaktadır. Celsius eşeli önceleri santigrat eşeli olarak da adlandırılırdı.



Aşağıdaki eşitlik, Celsius derecesini Fahrenheit derecesine çevirmek için kullanılır:

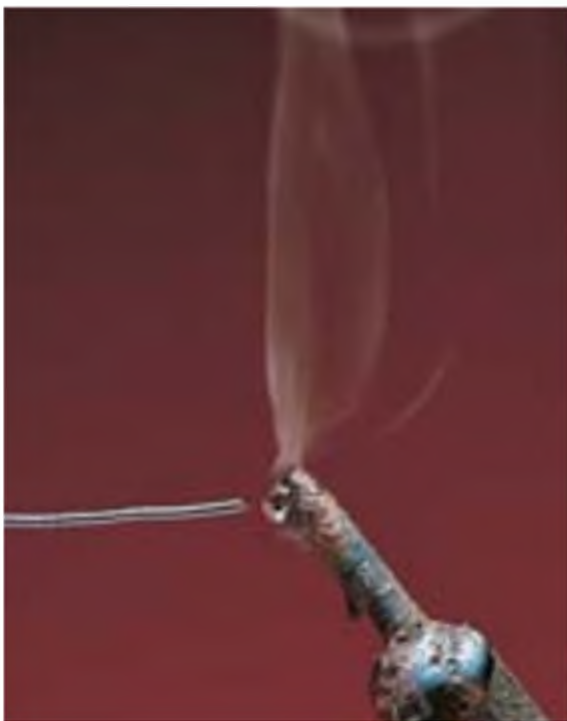
$$^{\circ}\text{F} = \frac{9^{\circ}\text{F}}{5^{\circ}\text{C}} \times (^{\circ}\text{C}) + 32^{\circ}\text{F} \quad (1.3)$$

Celsius ve Kelvin eşellerinin her ikisi de aynı büyüklükteki birimlere sahiptirler. Yani, bir Celsius derecesi bir Kelvine eşittir. Deneyisel çalışmalar Kelvin eşelindeki mutlak sıfır noktasının, Celsius eşelinde $-273,15^{\circ}\text{C}$ değerine eşit olduğunu göstermiştir. Buna göre, Celsius derecesini Kelvin derecesine dönüştürmek için aşağıdaki bağıntıyı kullanabiliriz:

$$^{\circ}\text{K} = (^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{C}) \frac{1\text{ K}}{1^{\circ}\text{C}} \quad (1.4)$$

Celsius dereceleri ile Fahrenheit dereceleri arasında veya Celsius dereceleri ile Kelvin arasında birim dönüştürmenin sıklıkla gerekli olduğunu göreceksiniz. Örnek 1.3 bu dönüştürmeleri göstermektedir.

Sayfa 17’de verilen “Kimya İşbaşında” adlı okuma parçasında, bilimsel çalışmalarda, birimler konusunda neden dikkatli olmamız gerektiği anlatılmaktadır.



Elektronik devreleri birbirine bağlamak için çoğu kez lehim kullanılır.

Örnek 1.3

(a) Elektronik devrelerde kullanılan lehim, kalay ve kurşundan oluşan bir alaşımdır. Lehimin erime noktası 224°C ’dir. Lehimin erime noktası Fahrenheit derecesi cinsinden nedir? (b) Helyum, bütün elementler arasında -425°F ile en düşük kaynama noktasına sahip elementtir. Bu sıcaklığı Celsius derecesine dönüştürünüz. (c) Cıva, oda sıcaklığında sıvı halde bulunan tek metaldir ve $-38,9^{\circ}\text{C}$ ’de erir. Cıvanın erime noktasını Kelvin birimine çeviriniz.

Çözüm Yukarıda verilen üç şıkta sıcaklık dönüştürmeleri gerekmektedir. Bu nedenle Eşitlik (1.2), Eşitlik (1.3) ve Eşitlik (1.4)’e ihtiyacımız vardır. Kelvin ölçeğinde en düşük sıcaklığın sıfır (0 K) olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, Kelvin sıcaklıkları eksi değer olamaz.

(a) Bu dönüştürme aşağıdaki şekilde yazılarak gerçekleştirilir:

$$\frac{9^{\circ}\text{F}}{5^{\circ}\text{C}} \times (224^{\circ}\text{C}) + 32^{\circ}\text{F} = 435^{\circ}\text{F}$$

(Devamı)

Birimlerin Önemi

Aralık 1998 tarihinde NASA, kızıl gezegenin ilk iklim uydusu olarak tasarlanan ve 125 milyon dolar değerindeki Mars İklim Uzay aracını fırlattı. Yaklaşık 671 milyon km yol aldıktan sonra, uzay aracının 23 Eylül 1999 tarihinde Mars'ın yörüngesine girmesi bekleniyordu. Gerçekte, uzay aracı Mars'ın atmosferine planlanandan yaklaşık 100 km (62 mi) daha aşağıya indi ve ısınma ile parçalandı. Görev kontrolörleri, uzay aracının kaybına İngiliz ölçme birimlerinin metrik birimlere çevrilirken navigasyon yazılımındaki hatanın neden olduğunu söylediler.

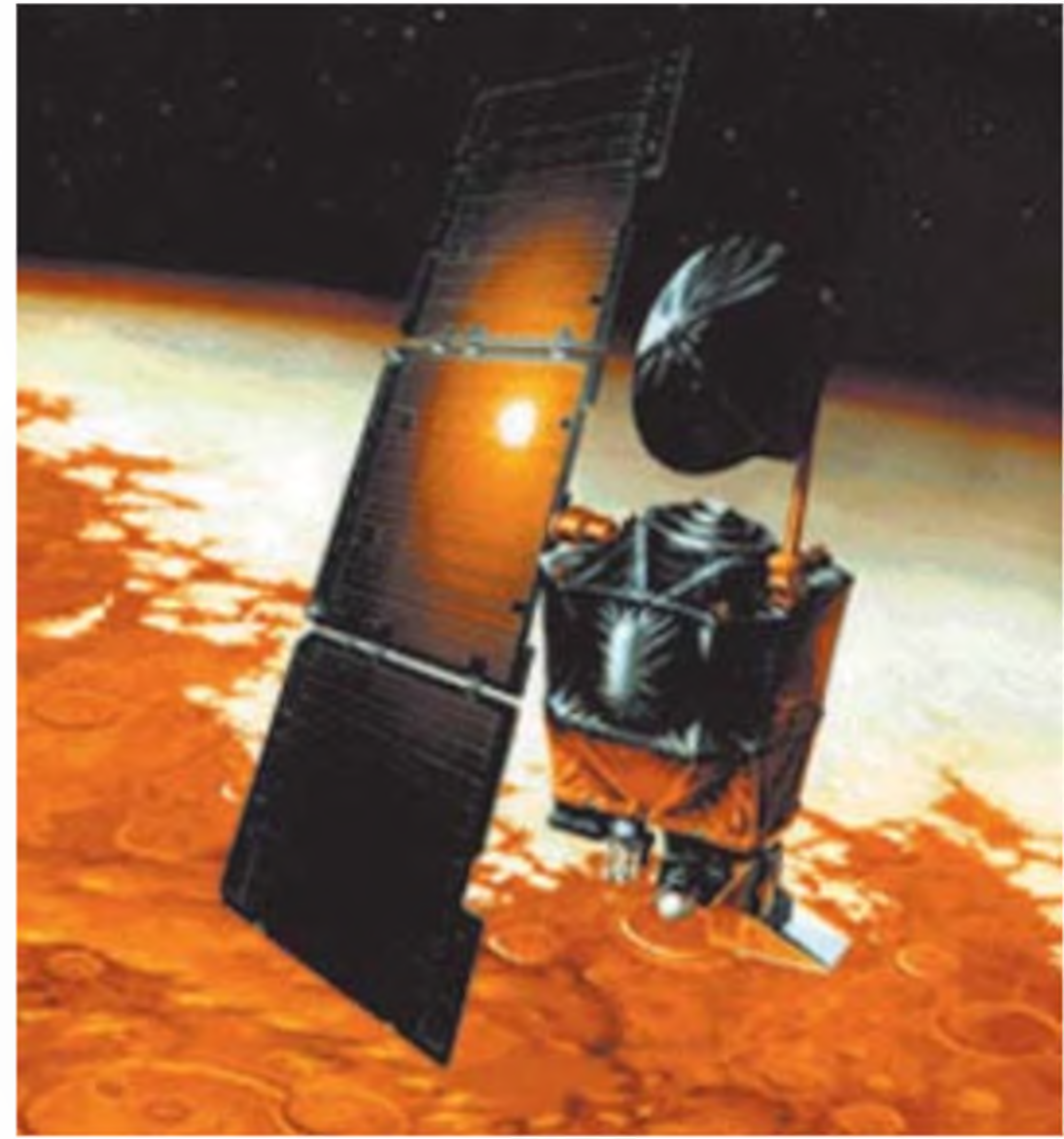
Lockhead Martin Şirketinde, uzay aracını inşa eden mühendisler, mekiğin itme kuvvetini bir İngiliz ölçü birimi olan pound cinsinden belirttiler. Diğer taraftan, NASA'nın Jet İtici Güç laboratuvarındaki bilim insanları, itme kuvveti verilerinin metrik birimle yani Newton cinsinden ifade edildiğini zannetmişlerdi. Normal olarak pound bir kütle birimidir. Ancak, kuvvet birimi olarak ifade edildiğinde, o kütledeki bir cisme yer çekimi sebebiyle etki eden kuvvet 1 lb'dir. Pound ve newton arasındaki dönüşümü gerçekleştirmek için, 1 lb = 0,4536 kg bağlantısı ile Newton'un ikinci hareket yasası kullanılır.

$$\begin{aligned} \text{kuvvet} &= \text{kütle} \times \text{ivme} \\ &= 0,4536 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 4,45 \text{ kg m/s}^2 \\ &= 4,45 \text{ N} \end{aligned}$$

1 Newton (N) = 1 kg m/s²dir. Buna göre, bilim insanları 1 lb'lık bir kuvveti, 4,45 N'a çevirmek yerine onu 1 N olarak kullandılar.

Newton cinsinden ifade edilen bu oldukça küçük motor itme kuvveti, uzay aracının daha düşük bir yörün-

geye girmesine ve imha olmasına neden oldu. Mars görevinin başarısızlığı yorumlanırken, bir bilim insanı "bu konu, sonsuza kadar, ilkokul, lise ve üniversitelerdeki fen derslerinde, metrik sisteme girişte eğitici bir öykü olarak anlatılacaktır" dedi.



Mars İklim uydusu

(b) Burada,

$$(-452^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}) \times \frac{5^{\circ}\text{C}}{9^{\circ}\text{F}} = -269^{\circ}\text{C}$$

(c) Cıvanın erime noktası Kelvin cinsinden aşağıdaki gibidir.

$$(-38,9^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{C}) \times \frac{1\text{ K}}{1^{\circ}\text{C}} = 234,3 \text{ K}$$

Aıştırma (a) Kurşunun erime noktası olan 327,5°C'yi Fahrenheit derecesine dönüştürünüz. (b) Etanolün kaynama noktası olan 172,9°F'ı Celsius derecesine dönüştürünüz. (c) Sıvı azotun kaynama noktası olan 77 K'i Celsius derecesine dönüştürünüz. .

Benzer problemler: 1.24, 1.25, 1.26.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bakırın yoğunluğu 20°C'de 8,94 g/cm³ ve 60°C'de ise 8,91 g/cm³ tür. Bu yoğunluk azalması, aşağıda verilen ifadelerden hangisinin sonucudur?

- (a) Metal genişir.
- (b) Metal büzülür.
- (c) Metalin kütlesi artar.
- (d) Metalin kütlesi azalır.

1.8 Sayıların Kullanılması

Kimyada kullanılan bazı birimleri incelerken, ölçü birimleri ile ilişkili sayıların kullanımı için bilimsel gösterim ve anlamlı sayılar gibi tekniklere başvurulur.

Bilimsel Gösterim

Kimyacılar çoğu kez çok büyük ya da çok küçük sayılarla uğraşırlar. Örneğin, 1 g hidrojen elementinde yaklaşık olarak

$$602200000000000000000000$$

tane hidrojen atomu vardır. Her hidrojen atomu ise sadece

$$0,000000000000000000000000166 \text{ g}$$

kütleye sahiptir. Bu sayıların kullanımı zahmetlidir ve aritmetik hesaplamalarda kullanılmaları sırasında kolayca hata yapılabilir. Aşağıdaki çarpma işlemi göz önüne alalım:

$$0,00000000056 \times 0,00000000048 = 0,0000000000000000002688$$

Virgülden sonra yazılan sıfırların bir fazla ya da bir eksik yazılması her zaman olasıdır. Bu nedenle, çok büyük ve çok küçük rakamlarla çalışıldığında *bilimsel gösterim* olarak adlandırılan bir sistem kullanılır. Büyüklüğüne bakılmaksızın tüm sayılar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$N \times 10^n$$

Burada N , 1 ile 10 arasında bir sayı, n ise pozitif ya da negatif bir tam sayı ile gösterilen bir kuvvettir. Bu şekilde ifade edilen her hangi bir sayı bilimsel gösterim sistemi ile yazılmış kabul edilir.

Verilen belirli bir sayının bilimsel gösterim ile yazılmasının istenildiğini varsayalım. Yapılacak ilk işlem n sayısının bulunmasıdır. Bunun için N sayısını (1 ile 10 arasında bir sayı) bulmak üzere, virgül kaydırması yapılır. Virgül sola doğru kaydırılırsa, n pozitif bir tamsayı, sağa doğru kaydırılırsa negatif bir tamsayı olur. Aşağıdaki örnekler bilimsel gösterimin uygulanmasını göstermektedir:

- (1) 568,762 sayısının bilimsel gösterim sistemi ile yazılması:

$$568,762 = 5,68762 \times 10^2$$

Görüldüğü gibi virgül sola doğru iki basamak kaydırılmış ve $n = 2$ olarak bulunmuştur.

- (2) 0.00000772 sayısının bilimsel gösterim sistemi ile yazılması:

$$0,00000772 = 7,72 \times 10^{-6}$$

Burada virgül sağa doğru altı basamak kaydırılarak $n = -6$ bulunmuştur.

Aşağıda belirtilen iki nokta unutulmamalıdır. Birincisi $n = 0$, bilimsel gösterim sistemi ile ifade edilmeyen sayılar için kullanılır. Örneğin, $74,6 \times 10^0$ ($n = 0$) sayısı 74,6'ya eşittir. İkincisi, pratikte $n = 1$ olduğu zaman, bunun yazılması ihmal edilir. Buna göre 74,6 için bilimsel gösterim $7,46 \times 10$ şeklindedir, $7,46 \times 10^1$ değildir.

Herhangi bir sayının sıfıncı kuvveti bire eşittir

Bundan sonra, bilimsel gösterimin aritmetik işlemlerde nasıl kullanılacağını inceleyelim.

Toplama ve Çıkarma

Bilimsel gösterimi kullanarak toplama ve çıkarma işlemi yapmak için ilk önce, N_1 ve N_2 olarak belirtebileceğimiz sayılar, aynı n kuvveti ile yazılır. Daha sonra N_1 ve N_2 sayıları toplanır ya da çıkarılır, üstel terim ise değişmeden kalır. Aşağıdaki örnekleri göz önüne alalım:

$$\begin{aligned}(7,4 \times 10^3) + (2,1 \times 10^3) &= 9,5 \times 10^3 \\(4,31 \times 10^4) + (3,9 \times 10^3) &= (4,31 \times 10^4) + (0,39 \times 10^4) \\&= 4,70 \times 10^4 \\(2,22 \times 10^{-2}) - (4,10 \times 10^{-3}) &= (2,22 \times 10^{-2}) - (0,41 \times 10^{-2}) \\&= 1,81 \times 10^{-2}\end{aligned}$$

Çarpma ve Bölme

Bilimsel gösterim ile ifade edilen sayıları çarpmak için, N_1 ve N_2 sayıları bilinen yolla basitçe çarpılır, ancak üstler *toplanarak* verilir. Bilimsel gösterimle ifade edilen sayıların bölme işlemlerinde N_1 ve N_2 sayıları birbirlerine bölünür ve üstler, bu değerinden çıkarılarak verilir. Aşağıdaki örnekler bu işlemlerin nasıl gerçekleştirildiğini göstermektedir:

$$\begin{aligned}(8,0 \times 10^4) \times (5,0 \times 10^2) &= (8,0 \times 5,0)(10^{4+2}) \\&= 40 \times 10^6 \\&= 4,0 \times 10^7 \\(4,0 \times 10^{-5}) \times (7,0 \times 10^3) &= (4,0 \times 7,0)(10^{-5+3}) \\&= 28 \times 10^{-2} \\&= 2,8 \times 10^{-1} \\\frac{6,9 \times 10^7}{3,0 \times 10^{-5}} &= \frac{6,9}{3,0} \times 10^{7-(-5)} \\&= 2,3 \times 10^{12} \\\frac{8,5 \times 10^4}{5,0 \times 10^9} &= \frac{8,5}{5,0} \times 10^{4-9} \\&= 1,7 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

Anlamlı Rakamlar

Örneğin, bir sınıftaki öğrencilerin sayısını saymak gibi, ilgili sayıların tamamının tam sayı olması durumu hariç, araştırmalarda herhangi bir değer kesin sonucunu elde etmek çoğunlukla olanaksızdır. Bu nedenle, bir ölçümdeki hata payını belirtmek için, ölçülen ya da hesaplanan *bir büyüklükteki anlamlı basamaklar olan anlamlı rakamların* sayısını açıkça belirtmek önemlidir. Anlamlı rakamlar kullanıldığı zaman, son basamağın belirsizlik içerdiği bilinmelidir. Örneğin, bir sıvının istenilen bir miktarının hacmi, ölçümde 1 mL belirsizlik içeren bir ölçme silindiri kullanılarak ölçülebilir. Eğer hacim 6 mL bulunmuşsa, gerçek hacim 5 mL ile 7 mL aralığındadır. Bu sıvının hacmi (6 ± 1) mL şeklinde gösterilir. Bu durumda artı veya eksi 1 mL belirsizliğe sahip sadece bir tane anlamlı rakam (6 sayısı) vardır. Daha büyük bir doğruluk için, daha sık derecelendirilmiş bir ölçme silindiri kullanabiliriz, bu durumda hacmi



Şekil 1.12 Metler Toledo XS marka analitik terazi

sadece 0,1 mL belirsizlikle ölçmüş oluruz. Eğer bu durumda sıvı hacmi gene 6 mL olarak ölçülürse, hacim $(6,0 \pm 0,1)$ mL olarak ifade edilebilir ve gerçek değer 5,9 mL ile 6,1 mL arasında bir değerdir. Ölçme aletini daha fazla geliştirerek daha anlamlı sayılar elde edilebilir. Ancak her durumda son basamak daima belirsizdir. Belirsizliğin büyüklüğü ölçme işleminde kullandığımız alet ya da cihaza bağlıdır.

Şekil 1.12’de gelişmiş bir hassas terazi görülmektedir. Buna benzer teraziler pek çok genel kimya laboratuvarında bulunur. Bu terazilerle bir cismin kütlesi, onluk sistemde dört haneye kadar ölçülebilir. Böylece, ölçülen kütle için dört tane (örneğin 0.8642 g) ya da daha çok (örneğin 3,9745 g) anlamlı rakam vardır. Verileri içeren hesaplamaların ölçümün kesinliğini yansıttığından emin olmak için, kütlenin ölçümünde olduğu gibi, anlamlı rakamların sayısına bakılır.

Anlamlı Rakamların Kullanım Kuralları

Bilimsel çalışmalarda anlamlı rakamların doğru sayıda yazılmasına çok dikkat etmeliyiz. Genel olarak, bir sayıda kaç tane anlamlı rakam olması gerektiğini belirlemek, aşağıdaki kuralları izleyerek oldukça kolaydır:

1. Sıfır dışında her tam sayı anlamlıdır. Buna göre, 845 cm sayısı üç tane, 1,234 kg sayısı dört tane v.b. anlamlı rakam içermektedir.
2. Sıfırdan farklı rakamlar arasında bulunan sıfır anlamlıdır. Buna göre, 606 m üç tane, 40501 kg beş tane v.b. anlamlı rakam içermektedir.
3. İlk sıfırdan farklı rakamın solunda bulunan sıfırlar anlamlı değildir. Bu sıfırların görevi ondalık sistemde bölünmelerin yerini belirlemektir. Örneğin, 0,08 L’de bir tane, 0,0000349 g üç tane v.b. anlamlı rakam bulunmaktadır.
4. Bir sayı 1’den büyükse, ondalık kesir noktasının sağ tarafına yazılan tüm sıfırlar anlamlıdır. Buna göre, 2,0 mg iki tane, 40,062 mL beş tane ve 3,040 dm dört tane anlamlı rakamdan oluşmaktadır. Bir sayının 1’den küçük olması durumunda, sayının sonundaki sıfırlar ve sıfırdan farklı rakamlar arasındaki sıfırlar anlamlıdır. Buna göre 0,090 kg sayısı iki tane, 0,3005 L sayısı dört tane, 0,00420 dakika sayısı üç tane v.b. anlamlı rakam içermektedir.
5. Ondalık kesir bölmesi bulundurmeyen sayılar için, sağ tarafta sıralanan sıfırlar (yani, sıfırdan farklı son rakamdan sonra gelen sıfırlar) anlamlı olabileceği gibi anlamsız da olabilir. Örneğin, 400 cm bir tane (4 rakamı), iki tane (40) ya da üç tane (400) anlamlı rakam içeriyor olabilir. Daha fazla bilgi sahibi olmadan hangisinin doğru olduğuna karar vermek olanaksızdır. Bu nedenle bilimsel gösterim sistemi uygulanarak, belirtilen karmaşa önlenmeye çalışılır. Bu özel durum için 400 sayısı, 4×10^2 şeklinde yazılarak bir tane, $4,0 \times 10^2$ şeklinde yazılarak iki tane ya da $4,00 \times 10^2$ şeklinde yazılarak üç tane anlamlı rakam içerdiği belirtilir.

Anlamlı rakamların belirlenmesi Örnek 1.4’te gösterilmiştir.

Örnek 1.4

Aşağıda verilen ölçümlerdeki anlamlı rakamların sayısını belirleyiniz: (a) 478 cm, (b) 6,01 g, (c) 0,825 m, (d) 0,043 kg, (e) $1,310 \times 10^{22}$ atom, (f) 7000 mL.

Çözüm (a) Üç, çünkü her sayı sıfırdan farklı bir tam sayıdır. (b) Üç, çünkü sıfırdan farklı tam sayılar arasındaki sıfırlar anlamlıdır. (c) Üç, çünkü sıfırdan farklı ilk tam sayının solundaki sıfırlar anlamsızdır. (d) İki (c) sıkkındaki açıklama bu şık için de geçerlidir. (e) Dört, çünkü sayının birden büyük olması nedeniyle, virgülden sonra yazılan sıfırların tamamı anlamlı rakam olarak sayılır. (f) Bu belirsiz bir durumdur, çünkü anlamlı rakam sayısı dört (7.000×10^3), üç (7.00×10^3), iki (7.0×10^3) veya

(Devamı)

bir (7×10^3) olabilir. Bu örnek uygun anlamlı rakam sayısının gösteriminde niçin bilimsel gösterimin kullanılması gerektiğini anlatmaktadır.

Benzer problemler: 1.33, 1.34.

Aıştırma Aşağıda verilen ölçümlerdeki anlamlı rakamların sayısını belirleyiniz: (a) 24 mL, (b) 3001 g, (c) 0.0320 m^3 , (d) 6.4×10^4 molekül, (e) 560 kg.

Hesaplamalardaki anlamlı rakam sayısının belirlenmesi için kullanılan ikinci kurallar serisi:

1. Toplama ve çıkarma işlemlerinde, cevap orijinal sayıların kesir kısmında bulunan en az basamak sayısından daha fazla sayıda basamak içeremez. Aşağıdaki örnekleri göz önüne alalım:

$$\begin{array}{r} 89,332 \\ + 1,1 \quad \leftarrow \text{kesir bölmesinden sonra bir basamak} \\ \hline 90,432 \quad \leftarrow 90,4\text{'e yuvarlatılır} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,097 \\ - 0,12 \quad \leftarrow \text{kesir bölmesinden sonra iki basamak} \\ \hline 1,977 \quad \leftarrow 1,98\text{'e yuvarlatılır} \end{array}$$

Yuvarlama işlemi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir. Bir sayıyı belli bir noktada yuvarlamak için, bu rakamı takip eden rakamlardan ilk olan rakam 5'ten küçükse bu rakamlar doğrudan silinir. Buna göre, kesir bölmesinden sonra sadece iki basamak olmasını istersek 8,724 sayısını 8,72'ye yuvarlarız. Eğer yuvarlanacak rakamdan hemen sonra gelen rakam 5 ya da 5'den büyükse yuvarlanacak rakama 1 eklenir. Bu nedenle, 8,727 sayısı 8,73'e ve 0,425 sayısı da 0,43'e yuvarlanır.

2. Çarpma ve bölmede, çarpım ya da bölümün anlamlı rakam sayısı, *en az sayıda* anlamlı rakam içeren orijinal sayıdaki anlamlı basamak sayısı ile belirlenir. Bu kuralı aşağıdaki örnek açıklamaktadır:

$$2,8 \times 4,5039 = 12,61092 \quad \leftarrow \text{bu sayı 13'e yuvarlatılır.}$$

$$\frac{6,85}{112,04} = 0,0611388789 \quad \leftarrow \text{bu sayı 0,0611'e yuvarlatılır.}$$

3. Tanımdan gelen veya cisimlerin sayısını sayarak elde edilen *tam sayılar* göz önüne alındığında, bu sayıların sonsuz sayıda anlamlı rakam içerdiği düşünülebilir. Örneğin, bir inç tam olarak 2,54 santimetre olarak tanımlanır; yani

$$1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$$

Bu sebeple, bağıntıdaki "2,54" sayısı üç anlamlı rakamla verilen ölçüm sonucu olarak yorumlanmamalıdır. "in" ve "cm" arasındaki dönüşümü kapsayan hesaplamalarda, "1" ve "2,54" sayılarının her ikisinin de sonsuz sayıda anlamlı rakam içerdiğini düşünmeliyiz. Benzer şekilde, bir cismin kütlesi 5,0 g ise, aynı cisimden dokuz tanesinin kütlesi de

$$5,0 \text{ g} \times 9 = 45 \text{ g'dır.}$$

5,0 sayısı iki anlamlı rakam içerdiği için, sonuç iki anlamlı rakam içerir. 9 sayısı bir tam sayıdır ve anlamlı rakam sayısı belirtilmez.

Örnek 1.5 anlamlı rakamların aritmetik işlemlerde nasıl kullanılacağını göstermektedir.

Örnek 1.5

Aşağıda verilen aritmetik işlemleri doğru sayıda anlamlı rakam kullanarak gerçekleştiriniz: (a) $11254,1 \text{ g} + 0,1983 \text{ g}$, (b) $66,59 \text{ L} - 3,113 \text{ L}$, (c) $8,16 \text{ m} \times 5,1355$, (d) $0,0154 \text{ kg} \div 88,3 \text{ mL}$, (e) $2,64 \times 10^3 \text{ cm} + 3,27 \times 10^2 \text{ cm}$

(Devamı)

Çözüm Toplama ve çıkarmada, cevaptaki ondalık basamakların sayısı en düşük ondalık basamak sayısı ile belirlenir. Çarpma ve bölmede ise, cevaptaki anlamlı rakamlar, en düşük anlamlı rakam sayısına sahip sayı ile belirlenir.

- (a)
$$\begin{array}{r} 11254,1 \text{ g} \\ + 0,1983 \text{ g} \\ \hline 11254,2983 \text{ g} \leftarrow 11254,3 \text{ g'a yuvarlatılır} \end{array}$$
- (b)
$$\begin{array}{r} 66,59 \text{ L} \\ - 3,113 \text{ L} \\ \hline 63,477 \text{ L} \leftarrow 63,48 \text{ g'a yuvarlatılır} \end{array}$$
- (c) $8,16 \text{ m} \times 5,1355 = 41,90568 \text{ m} \leftarrow 41,9 \text{ m'ye yuvarlatılır}$
- (d) $\frac{0,0154 \text{ kg}}{88,3 \text{ mL}} = 0,000174405436 \text{ kg/mL} \leftarrow 0,000174 \text{ kg/mL'ye}$
veya $1,74 \times 10^{-4} \text{ kg/mL'ye yuvarlatılır.}$
- (e) Önce $3,27 \times 10^2 \text{ cm'yi } 0,327 \times 10^3 \text{ cm}$ olarak yazarız ve toplama işlemini $(2,64 \text{ cm} + 0,327 \text{ cm}) \times 10^3$ yaparız. (a) şıkında verilen işlemi takip ederek sonucu $2,97 \times 10^3 \text{ cm}$ olarak buluruz.

Benzer problemler: 1.35, 1.36.

Alıştırma Aşağıda verilen aritmetik işlemleri yapınız ve sonuçları uygun sayıda anlamlı rakama yuvarlayarak veriniz: (a) $26,5862 \text{ L} + 0,17 \text{ L}$.
(b) $9,1 \text{ g} - 4,682 \text{ g}$, (c) $7,1 \times 10^4 \text{ dm} \times 2,2654 \times 10^2 \text{ dm}$. (d) $6,54 \text{ g} \div 86,5542 \text{ mL}$.
(e) $(7,55 \times 10^4 \text{ m}) - (8,62 \times 10^3 \text{ m})$.

Anlatılan yuvarlama işlemleri tek basamaklı hesaplamalar için uygulanmıştır. Zincirleme yapılan hesaplamalarda, yani birden daha çok adımda yapılan işlemlerde, nasıl yuvarladığınıza bağlı olarak farklı cevaplar bulabiliriz. Aşağıdaki iki basamakta gerçekleştirilen hesaplamayı göz önüne alalım:

Birinci basamak: $A \times B = C$

İkinci basamak: $C \times D = E$

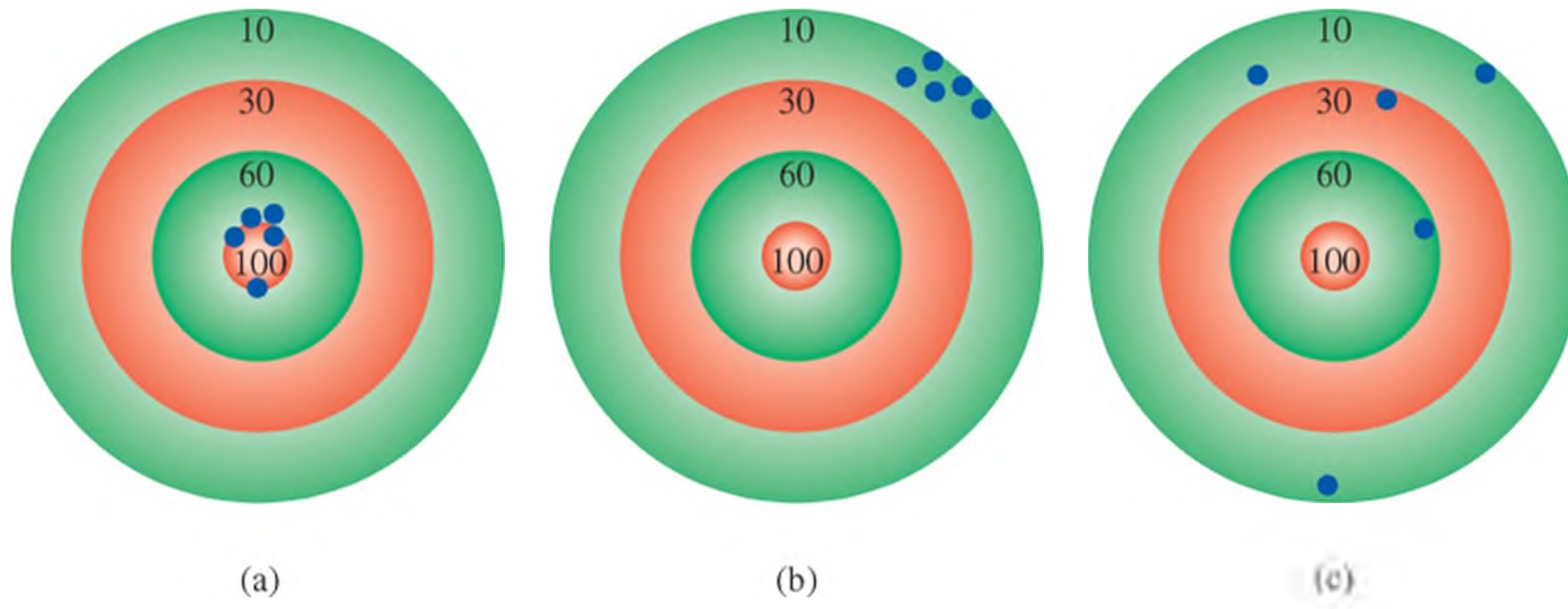
Burada $A = 3,66$, $B = 8,45$ ve $D = 2,11$ olsun. C'nin üç veya dört anlamlı rakama yuvarlanmasına bağlı olarak, E için farklı bir sayı elde edilir.

Yöntem 1	Yöntem 2
$3,66 \times 8,45 = 30,9$	$3,66 \times 8,45 = 30,93$
$30,9 \times 2,11 = 65,2$	$30,93 \times 2,11 = 65,3$

Eğer bu hesaplama $3,66 \times 8,45 \times 2,11$ olarak, ara cevabın yuvarlatılması yapılmaksızın hesap makinesi ile yapılırsa, E için 65,3 değeri elde edilir. Yuvarlamadan doğabilecek hataları ortadan kaldırmak amacıyla, ara basamaklar için önceki anlamlı rakam sayısına ilave bir basamak oluşturulmasına rağmen, sonuçlar arasındaki fark çok küçük olması sebebiyle pek çok hesaplama için bu işleme gerek yoktur. Bu sebeple, pek çok örnek ile ara cevapların verildiği bölüm sonu problemleri için, ara ve son bütün cevaplar yuvarlanacaktır.

Doğruluk ve Kesinlik

Ölçmeler ve anlamlı sayılar tartışılırken, *doğruluk* ve *kesinlik* kavramlarını birbirinden ayırmak gerekir. **Doğruluk**, bir ölçüm sonucunun ölçülen büyüklüğün gerçek değerine ne kadar yakın olduğunu belirtir. Bir bilim insanı için doğruluk ile kesinlik arasında fark vardır. **Kesinlik**, aynı büyüklüğe ait, biri diğeriyle uyum içinde olan iki ya da daha çok sayıdaki ölçme sonucunun birbirlerine ne kadar yakın olduğunu ifade eder (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 Okların bir hedef tahtası üzerindeki dağılımı kesinlik ve doğruluk arasındaki farkı göstermektedir. (a) Doğruluk iyi, kesinlik iyi, (b) doğruluk kötü, kesinlik iyi, (c) Doğruluk kötü, kesinlik kötü. Mavi noktalar dartların konumunu göstermektedir.

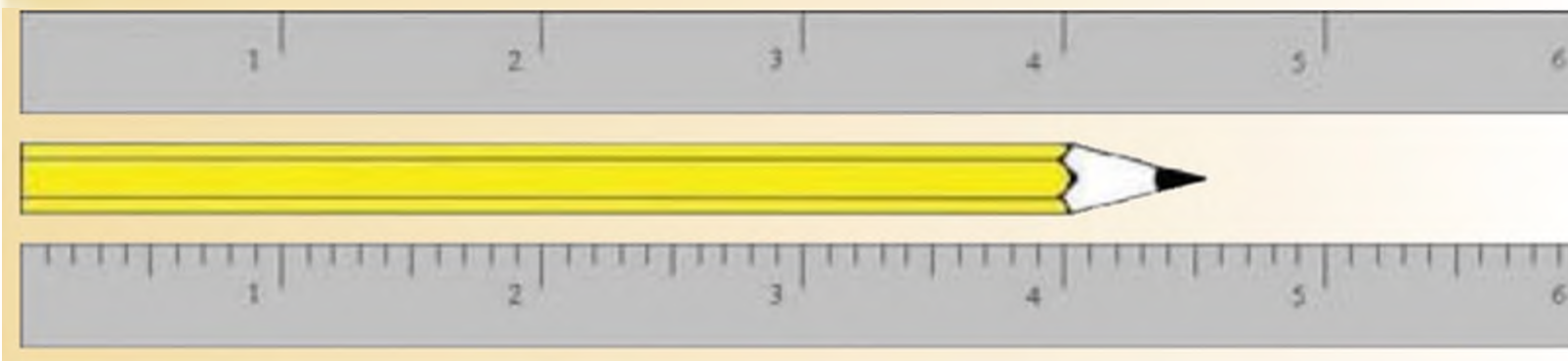
Doğruluk ile kesinlik arasında kolayca fark edilemeyen ama oldukça önemli bir fark vardır. Örneğin, üç ayrı öğrenciden, bir parça bakır telin kütlesinin belirlenmesinin istendiğini varsayalım. Her bir öğrenci tarafından elde edilen ikişer ölçme sonucu aşağıdaki gibi olsun:

	Öğrenci A	Öğrenci B	Öğrenci C
	1,964 g	1,972 g	2,000 g
	1,978 g	1,968 g	2,002 g
Ortalama değer	1,971 g	1,970 g	2,001 g

Bu telin gerçek kütlesi 2,000 g'dır. Bu nedenle, Öğrenci B'nin sonuçları Öğrenci A'nın sonuçlarından daha kesindir (1,972 g ve 1,968 g değerlerinin 1,970 g'dan sapması 1,964 g ve 1,978 g'nın 1,971'den sapmasından azdır). Ancak, her iki sonuç da yeterli *doğrulukta* değildir. Öğrenci C'nin sonuçları hem daha kesin, hem daha doğrudur. Çünkü, ortalama değer gerçek değere en yakın değerdir. Yüksek doğruluğa sahip ölçme sonuçları, çoğunlukla kesinliği de iyi olan sonuçlardır. Diğer taraftan, yüksek kesinlikte olan ölçme sonuçlarının yeterli doğrulukta olma garantisi yoktur. Örneğin, iyi kalibre edilmemiş bir metrelik cetvel veya hatalı bir terazi ile kesinliği iyi olan ancak hatalı sonuçlar elde edilebilir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Kalemin uzunluğunu, ölçme işleminde kullandığınız cetvele göre, uygun anlamlı sayılarla belirtiniz.



1.9 Problem Çözümünde Boyut Analizi

Dikkatli ölçümler, uygun anlamlı sayıların kullanımı ve buna bağlı olarak yapılan doğru hesaplamalar, doğru sayısal sonuçların elde edilmesini sağlar. Ancak sonucun anlamlı olabilmesi için aynı zamanda biriminin de belirtilmesi gerekir. Kimyada problem çözerken, birimler arasında yapılan dönüştürme işlemi *boyut analizi* olarak adlandırılır (aynı zamanda *faktör belirleme yöntemi* de denir). Boyut analizi yapmanın temelinde, aynı fiziksel büyüklüğü ifade eden farklı birimler arasındaki ilişkinin kurulma-



Boyut analizi, Einstein'a da meşhur kütle-enerji formülü $E = mc^2$ 'nin türetilmesinde yol göstermiş olabilir.

sı yatmaktadır. Örneğin, tanım gereği $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$ (tam olarak) dir. Bu eşitlik, aşağıdaki gibi bir dönüştürme faktörünü yazmamızı sağlar:

$$\frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}}$$

Pay ve payda aynı uzunluğu ifade ettiği için bu kesrin değeri 1'e eşittir. Benzer şekilde aşağıdaki dönüştürme faktörünü de yazabiliriz:

$$\frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}}$$

Bu faktörün değeri de 1'e eşittir. Dönüştürme faktörleri birimlerin dönüştürülmesi için faydalıdır. Yani, inç cinsinden verilmiş bir uzunluğu santimetreye dönüştürmek istersek, uzunluğu uygun bir faktörle çarpabiliriz.

$$12,00 \text{ in} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 30,48 \text{ cm}$$

Inç birimini sadeleştirecek ve istenilen birimi yani santimetreyi ortaya çıkaracak bir dönüştürme faktörü seçeriz. 2,54 sayısının bir tam sayı olması nedeniyle sonucun dört anlamlı rakamla verildiğine dikkat ediniz.

Şimdi de 57,8 metreyi santimetreye dönüştürelim. Bu problem aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$? \text{ cm} = 57,8 \text{ m}$$

Tanımdan,

$$1 \text{ cm} = 1 \times 10^{-2} \text{ m'dir.}$$

“m” yi “cm” ye dönüştürmek istediğimizden, seçeceğimiz çevirme faktöründe metre paydada olmalıdır,

$$\frac{1 \text{ cm}}{1 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

dönüşüm aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{aligned} ? \text{ cm} &= 57,8 \text{ m} \times \frac{1 \text{ cm}}{1 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ &= 5780 \text{ cm} \\ &= 5,78 \times 10^3 \text{ cm olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi sonuç üç anlamlı rakam olacak şekilde bilimsel gösterimle verilmiştir. Yine dönüştürme faktörü $1 \text{ cm}/1 \times 10^{-2} \text{ m}$ bir tam sayı olduğu için sonuçtaki anlamlı rakamların sayısı bundan etkilenmemiştir.

Genel olarak, boyut analizi işlemlerini uygulamak için aşağıdaki ilişkiyi kullanırız:

$$\text{verilen miktar} \times \text{çevirme faktörü} = \text{istenen miktar}$$

$$\cancel{\text{verilen birim}} \times \frac{\text{istenen birim}}{\cancel{\text{verilen birim}}} = \text{istenen birim}$$

Paydaki birimin kalmasını istediğinizde, paydadaki birimin sadeleştirilmesi gerektiğini unutmayınız

Boyut analizinde, tüm birimler hesaplama yapılırken işlemler boyunca yazılır. Eşitlik doğru oluşturulmuşsa istenilen birim dışındaki tüm birimler sadeleşerek yok olur ve geriye sadece istenilen birim kalır. İstenilen sonuç elde edilememişse, dönüşüm basamaklarında bir hata yapılmış olmalıdır. Bu durum, çözüm tekrar gözden geçirilerek fark edilebilir.

Problem Çözümü Üzerine Notlar

Buraya kadar bir problemin çözümüne yardımcı olacak bilimsel gösterim sistemi, anlamlı rakamlar ve boyut analizi üzerinde duruldu. Kimya deneysel bir bilimdir ve doğası gereği problemlerin pek çoğu madde miktarı ile ilişkilidir. Problem çözümünde başarının anahtarı uygulama yapmaktır. Bir maraton koşucusu nasıl sadece koşu hakkında kitap okuyarak yarışa hazırlanamazsa ve bir piyanist nasıl sadece partisyonu ezberleyerek başarılı bir konser veremezse, bir kimyacı da problem çözmeksizin kimyayı yeterince kavrayamaz. Aşağıda verilen adımlar sayısal problemlerin çözümünde becerimizin artmasına yardımcı olacaktır.

1. Soruyu dikkatli okuyunuz. Verilen bilgileri ve soruda ne istendiğini iyice anlayınız. Genellikle, bir çizim veya taslak yapmak problemi göztünüzde canlandırmanıza yardımcı olacaktır.
2. Verilen bilgiler ile, bilinmeyen veya sorulan miktarlar arasında uygun bir eşitlik bulunuz. Bazen bir problemin çözümü birden çok basamak içerebilir ve problem içinde verilmeyen büyüklükleri çizelgelerden bulmanız gerekebilir. Dönüşimleri gerçekleştirmek için çoğu zaman boyut analizi yapmanıza gerek olabilir.
3. Yanıtınızın işaret, birim ve anlamlı rakamlar bakımından doğruluğunu kontrol ediniz.
4. Problem çözümünün çok önemli bir kısımda bulduğunuz sonucun mantıklı olup olmadığının denetimidir. Yanlış bir işaret ya da doğru olmayan birimleri yakalamak kısmen kolaydır. Ancak bir rakamın (örneğin 9), bir kesirde yanlışlıkla pay yerine paydaya konulması, işaret ve birimler doğru bile olsa, elde edilecek sonucun beklenenden çok küçük olmasına neden olabilecektir.
5. Yanıtınızı hızlı denetlemenin bir yolu da “bir değer tahmini” yapmaktır. Buradaki düşünce, hesaplamada kullanılan rakamları yuvarlayarak aritmetik işlemi kabaca yapmaktır. Elde ettiğiniz sonuç tam doğru olmamakla birlikte, doğru değere oldukça yakın olacaktır.

Örnek 1.6

Bir kişinin ortalama günlük glikoz (şeker halinde) alımı 0.0833 pound (lb)'dur. Bu kütle, miligram (mg) cinsinden ne kadardır? (1 lb = 453.6 g)

İzlenecek Yol Problem aşağıdaki gibi ortaya konulabilir

$$? \text{ mg} = 0.0833 \text{ lb}$$

Pound ve gram arasındaki ilişki problemde verilmiştir. Bu ilişki poundun grama dönüştürülmesini sağlayacaktır. Daha sonra gramın miligrama ($1 \text{ mg} = 1 \times 10^{-3} \text{ g}$) dönüştürülmesi gerekmektedir. Uygun dönüştürme faktörlerinin düzenlenmesi ile pound ve gram birbirini götürür ve cevapta miligram birimi elde edilir.

Çözüm Dönüşüm faktörlerinin sırası aşağıdaki gibidir.

$$\text{pound} \longrightarrow \text{gram} \longrightarrow \text{miligram}$$

Aşağıdaki dönüştürme faktörleri kullanılarak

$$\frac{453.6 \text{ g}}{1 \text{ lb}} \quad \text{ve} \quad \frac{1 \text{ mg}}{1 \times 10^{-3} \text{ g}}$$

(Devamı)



Glikoz tabletleri, şeker hastalarının kan şekeri seviyelerindeki yükselme için hızlı bir yöntem sağlayabilir.

İngiliz birim sistemindeki bazı çevirme faktörleri, ABD'de bilimsel olmayan ölçmelerde sıklıkla kullanılır (örneğin pound ve inç gibi). Bunlara ilişkin çevirme faktörleri kitabın arka kapağının iç kısmında verilmiştir.

Cevabı tek bir basamakta aşağıdaki gibi buluruz:

$$? \text{ mg} = 0,0833 \text{ lb} \times \frac{453,6 \text{ g}}{1 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1 \times 10^{-3} \text{ g}} = 3,78 \times 10^4 \text{ mg}$$

Kontrol Tahminen, 1 lb yaklaşık 500 g ve 1 g = 1000 mg'dır. Bu nedenle, 1 lb yaklaşık $5 \times 10^5 \text{ mg}$ 'dır. 0.833 lb'yi 0.1 lb'ye yuvarlarsak $5 \times 10^4 \text{ mg}$ elde ederiz. bu değer yukarıdaki değere yakın bir değerdir.

Alıştırma Bir rulo alüminyum folyanın kütlesi 1,07 kg'dır. Bu kütle pound cinsinden ne kadardır?

Berzer problem: 1.45.

Örnek 1.7 ve Örnek 1.8, dönüştürme faktörlerinin boyut analizinde, kare veya küp kullanılabilineceğine ilişkindir.

Örnek 1.7

Ortalama bir yetişkin 5.2 L kana sahiptir. Bu kanın hacmi m^3 cinsinden ne kadardır?

İzlenecek Yol Problem aşağıdaki gibi ortaya konulabilir:

$$? \text{ m}^3 = 5,2 \text{ L}$$

Bu problemin çözümü için kaç tane dönüştürme faktörü gerekmektedir? $1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3$ ve $1 \text{ cm} = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$ olduğunu anımsayalım.

Çözüm İki tane dönüştürme faktörü gerekmektedir. Birisi litreyi cm^3 e. diğeri de santimetreyi metreye dönüştürmek için kullanılır.

$$\frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \quad \text{ve} \quad \frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}}$$

İkinci dönüştürme faktörünün uzunluk (cm ve m) ile ilgili olması ve hacmin hesaplanması istenildiği için dönüştürme faktörünün küpü alınmalıdır.

$$\frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}} \times \frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}} \times \frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}} = \left(\frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}} \right)^3$$

Bunun anlamı $1 \text{ cm}^3 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ dir. Şimdi aşağıdaki gibi yazarak sonucu bulabiliriz.

$$? \text{ m}^3 = 5,2 \text{ L} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \left(\frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}} \right)^3 = 5,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Kontrol Yukarıda verilen dönüştürme faktörlerinden $1 \text{ L} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ olduğunu görebilirsiniz. Bu sebeple, 5 L kan $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ olacaktır. bu sonuç cevaba yakındır.

Alıştırma Bir odanın hacmi $1,08 \times 10^8 \text{ dm}^3$ dir. Hacim m^3 cinsinden nedir?

Bir birimin kuvveti alındığında, kullandığınız dönüşüm faktörünün de aynı kuvvette olması gerektiğini unutmayınız.

Berzer problem: 1.50(d).

Örnek 1.8

Sıvı azot sıvılaştırılmış havadan elde edilir. Sıvı azot dondurulmuş ürünlerin hazırlanmasında ve düşük ısı gerektiren araştırmalarda kullanılır. Sıvının kaynama noktasındaki (-196°C veya 77 K) yoğunluğu $0,808 \text{ g/cm}^3$ dir. Yoğunluğun bu birimini kg/m^3 birimine dönüştürünüz.

(Devamı)

İzlenecek Yol Problem aşağıdaki gibi ortaya konulabilir

$$? \text{ kg/m}^3 = 0,808 \text{ g/cm}^3$$

Bu problemin çözümü için iki ayrı dönüşüm gereklidir: $\text{g} \longrightarrow \text{kg}$ ve $\text{cm}^3 \longrightarrow \text{m}^3$
 $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ ve $1 \text{ cm} = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$ olduğunu anımsayalım.

Çözüm Örnek 1.7’de $1 \text{ cm}^3 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ olduğunu gördük. Dönüşüm faktörleri aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \quad \text{ve} \quad \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

Sonuç,

$$? \text{ kg/m}^3 = \frac{0,808 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 808 \text{ kg/m}^3$$

olarak bulunur.

Kontrol $1 \text{ m}^3 = 1 \times 10^6 \text{ cm}^3$ olduğundan, 1 m^3 teki kütlenin 1 cm^3 tekinden çok daha fazla olduğunu düşünebiliriz. Bu nedenle sonuç mantıklıdır.

Alıştırma En hafif metal olan lityumun (Li) yoğunluğu $5,34 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ’dür. Bu yoğunluğu g/cm^3 ’e dönüştürünüz.



Sıvı azot yiyeceklerin dondurulmasında ve düşük sıcaklıkta yapılan araştırmalarda kullanılır.

Berzer problem: 1.51.

1.10 Dünyadaki Gerçek Problemlerin Çözümü: Bilgi, Varsayımlar ve Basitleştirmeler

Kınyada diğer bilimsel disiplinlerde olduğu gibi, sayısal bir problemin tam çözümü her zaman mümkün değildir. Bu durumun pek çok nedeni vardır. Örneğin, olayı kavramamız tam olmayabilir veya veriler bütünüyle mevcut olmayabilir. Böyle durumlarda akıllı bir tahmin yapmayı öğrenmemiz gerekir. Bu yaklaşım bazen, “bir zarfın arkasına” çalakalem yapılabilecek basit ve hızlı hesaplamalar olan “tahmini hesaplama” olarak adlandırılır.¹

Bölüm içindeki örnekler ve bölümün sonundaki sorularda dahil olmak üzere, şimdiye kadar görmüş olduğumuz ve göreceğimiz problemlerin çoğunda, problemi çözmek için gerekli bilgiler hazır verilmiştir. Ancak tıp, enerji veya ziraat ile ilgili dünyadaki gerçek problemleri çözmek için gerekli bilgilerin ne olduğunu ve nereden temin edebileceğimizi kendimiz belirlememiz gerekir. Gerekli olabilecek ek bilgilerin çoğu konu boyunca verilen çeşitli çizelgelerden bulunabilir. Çizelgeler ve önemli şekillerin bir listesi kitabın arka kapağın iç kısmında verilmiştir. Bununla beraber, çoğu kez ihtiyacımız olan bilgileri bulmak için dış kaynaklara bakmanız da gerekebilir. İnternet, bilgi bulmanın en hızlı yolu olmasına rağmen, kaynağın güvenilir ve iyi bir referans olduğuna dikkat etmelisiniz. Örneğin “Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST)” güvenilir kaynaklardan biridir.

Problemin çözümü için hangi bilgilere ihtiyacımız olduğunu öğrenmek için, öncelikle bir plan yapmanız gerekir. Bilimde kullanılan kuramların sınırlamalarına ilave olarak, problemlerin bu kuramlara dayalı olarak ortaya konması ve çözümü için tipik varsayımlarda bulunulur. Ebetteki bu varsayımların ve basitleştirmelerin bir bedeli vardır. Örnek 1.9’da gösterildiği gibi, problemin varsayım yapılarak basitleştirilmesiyle cevabın doğruluğu azalır.

¹Büyükliğin mertebesi 10 faktörü’dür.

Örnek 1.9

Bugün kullanılan “kurşun” kalemler, karbonun bir biçimi olan grafitten yapılmıştır. Ucu sivriltilmemiş bir standart (No: 2) kurşun kaleminin içinde bulunan grafit göbeğinin kütleini tahmin ediniz.

İzlenecek Yol Kurşun kalemin yaklaşık bir silindir şeklinde olduğunu fark ediniz. Ucu sivriltilmemiş bir kalemin uzunluğu yaklaşık 18 cm (silgi kısmı çıkarıldıktan sonra) ve kurşun gövdenin çapı ise yaklaşık 2 mm’dir. Bir silindirin hacmi (V), $V = \pi r^2 l$ formülü ile verilir. Burada r , yarıçap, l ise uzunluktur. Kurşun göbeğin saf grafit olduğunu farz ederek ve grafitin Çizelge 1.4’te verilen yoğunluğu ile hesaplanan hacmini kullanarak, kütleini bulabilirsiniz.

Çözüm Kurşun göbeğin çapı cm’ye dönüştürülür.

$$2 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 0.2 \text{ cm}$$

Kurşun göbeğin uzunluğu kullanılarak hacim hesaplanır

$$V = \pi \left(\frac{0.2 \text{ cm}}{2} \right)^2 \times 18 \text{ cm} \\ = 0.57 \text{ cm}^3$$

Eşitlik 1.1 yeniden düzenlenerek

$$m = d \times V \\ = 2.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0.57 \text{ cm}^3 \\ = 1.25 \text{ g}$$

bulunur.

Kontrol Kurşun göbeğin hacmini hesaplamak için kullanılan değerlerin yuvarlatılması durumunda: $3 \times (0.1 \text{ cm})^2 \times 20 \text{ cm} = 0.6 \text{ cm}^3$ elde edilir. Hacim için bulunan bu değer yaklaşık 2 g/cm^3 ile çarpılması sonucunda yaklaşık 1 g bulunur ki, bu değer hesaplanan değerle aynıdır.

Alıştırma Bir pinpon topu içerisindeki havanın kütleini tahmin ediniz..

Berzer problemler: 1.105, 1.106, 1.114.

Örnek 1.9’da, kurşun kalemin çapı daha büyük bir duyarlılıkla ölçülmüş olsaydı bile, sonucun doğruluğu bu problemin çözümünde yapılan varsayımlarla sınırlı olacaktı. Kurşun kalem genellikle grafit ve kil karışımıdır ve iki maddenin bağıl miktarları kalemin yumuşaklığını belirler. Bu nedenle malzemenin yoğunluğu büyük ihtimalle 2.2 g/cm^3 ten farklı olur. No 2 kurşun kalemlerin yapımında kullanılan karışımın yoğunluğu için çok daha iyi bir değer bulabilirsiniz, ancak elde edilen sonuç harcanan çabaya değmez.

Anahtar Eşitlikler

$$d = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}) \times \frac{5^{\circ}\text{C}}{9^{\circ}\text{F}} \quad (1.2)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9^{\circ}\text{F}}{5^{\circ}\text{C}} \times (^{\circ}\text{C}) + 32^{\circ}\text{F} \quad (1.3)$$

$$^{\circ}\text{K} = (^{\circ}\text{C} + 273.15^{\circ}\text{C}) \frac{1 \text{ K}}{1^{\circ}\text{C}} \quad (1.4)$$

Yoğunluğa ilişkin eşitlik

$^{\circ}\text{F}$ ’ın $^{\circ}\text{C}$ ’a dönüştürülmesi

$^{\circ}\text{C}$ ’ın $^{\circ}\text{F}$ ’a dönüştürülmesi

$^{\circ}\text{C}$ ’ın K ’e dönüştürülmesi

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Kimya çalışmaları gözlem, temsil ve yorum olmak üzere üç temel adımdan oluşur. Gözlem makroskopik dünyadaki ölçümleri ifade eder; temsil iletişimi için steno gibi gösterim simgelerini ve eşitliklerin kullanımını içerir; yorum ise mikroskopik dünyaya ait olan atom ve moleküllere dayalıdır.
2. Bilimsel yöntem, gözlemler ve ölçmeler yardımıyla elde edilen bilgiler ışığında yapılan araştırmalara sistematik bir yaklaşımdır. Bu süreçte, hipotezler, yasalar ve kuramlar geliştirilir ve denenir.
3. Kimyacılar madde ve maddenin uğradığı değişimleri incelerler. Saf maddeler, kimlikleri ve kendilerine özgü kimyasal özellikleri değişmeksizin, fiziksel özelliklere sahip maddelerden oluşur. Kimyasal özellikler değiştiğinde maddenin kimliği de değişir. Karışımlar, homojen ya da heterojen olsa da fiziksel yollarla saf bileşenlerine ayrılabilir.
4. Kimyadaki en basit saf madde elementlerdir. Bileşikler belli oranlarda farklı elementlerin kimyasal yollarla birleşmesi sonucu meydana gelirler.
5. Bütün saf maddeler esas olarak katı, sıvı ve gaz gibi üç halde bulunabilirler. Bu hallerin birbirine dönüşümü sıcaklık değişimi ile gerçekleştirilebilir.
6. SI birimleri, kimya da dahil olmak üzere, tüm bilim dallarındaki fiziksel nicelikleri ifade etmek için kullanılır.
7. Bilimsel gösterimle ifade edilen sayılar $N \times 10^n$ şeklinde gösterilir. Burada N , 1 ile 10 aralığında bir tam sayı ve n ise pozitif veya negatif bir tam sayıdır. Bilimsel gösterim çok küçük ve çok büyük nicelikleri kullanmamızı sağlar.

Anahtar Kelimeler

Ağırlık, p. 13	Heterojen karışım, p. 7	Kimyasal özellik, p. 11	Nitel, p. 4
Anımlı rakamlar, p. 19	Hipotez, p. 4	Kuram, p. 5	Saf madde, p. 7
Bileşik, p. 8	Homojen karışım, p. 7	Kütle, p. 11	Şiddet özelliği, p. 11
Bilimsel yöntem, p. 4	Kapasite özelliği, p. 11	Litre, p. 14	Uluslararası birim sistemi (SI), p. 12
Doğruluk, p. 22	Karışım, p. 7	Madde, p. 6	Yasa, P. 4
Element, p. 7	Kelvin, p. 15	Makroskopik özellik, p. 12	Yoğunluk, p. 11
Fiziksel özellik, p. 10	Keskinlik, p. 22	Mikroskopik özellik, p. 12	
Hacim, p. 11	Kimya, p. 2	Nicel, p. 4	

Sorular ve Problemler

Bilimsel Yöntem

Tarama Soruları

- 1.1 Bilimsel yöntemle ne kastedildiğini açıklayınız.
- 1.2 Nitel veriler ve Nicel veriler arasındaki fark nedir?

Problemler

- 1.3 Aşağıda verilenleri, nedenini açıklayarak, nitel ya da nicel ifadeler olarak sınıflandırınız. (a) Güneş dünyadan yaklaşık 150 km uzaklıktadır. (b) Leonardo da Vinci, Michelangelo'dan daha iyi ressamdır. (c) Buz sudan daha az yoğundur. (d) Tereyağının tadı margarinin tadından daha iyidir. (e) Zamanında atılan bir ilim dokuz misli sayılır.
- 1.4 Aşağıdaki ifadeleri hipotez, yasa veya kuram olarak tanımlayınız. (a) Beethoven evli olmuş olsaydı, müziğe olan katkısı çok daha fazla olurdu. (b) Sonbahar yaprakları, yaprak ve Dünya arasındaki

çekim gücü nedeniyle yere doğru yönelir. (c) Bütün maddeler atom denilen çok küçük parçacıklardan oluşur.

Maddenin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Tarama Soruları

- 1.5 Aşağıda verilen her bir terim için bir örnek veriniz. (a) Madde, (b) Saf madde, (c) Karışım.
- 1.6 Homojen karışım ve heterojen karışıma birer örnek veriniz.
- 1.7 Örnekleri kullanarak, fiziksel özellik ve kimyasal özellik arasındaki farkı açıklayınız.
- 1.8 Bir kapasite özelliği, şiddet özelliğinden nasıl farklı olur? Aşağıda verilen özelliklerden hangileri kapasite, hangileri şiddet özelliğidir? (a) Uzunluk, (b) Hacim, (c) Sıcaklık, (d) Kütle.

- 1.9 Element ve bileşiğe birer örnek veriniz. Element ve bileşik arasında ne fark vardır?
- 1.10 Bilinen elementlerin sayısı nedir.

Problemler

- 1.11 Aşağıdaki ifadeler fiziksel özelliği mi yoksa kimyasal özelliği mi açıklamaktadır? (a) Oksijen gazı yanmayı sağlar. (b) Gübreler tarımsal üretimin artmasına yardımcı olur. (c) Su dağın tepesinde 100°C'nin altında kaynar. (d) Kurşun alüminyumdan daha yoğundur. (e) Uranyum radyoaktif bir elementtir.
- 1.12 Aşağıdaki ifadelerin her biri fiziksel değişimi mi yoksa kimyasal değişimi mi ifade etmektedir? (a) Bir balonun içinde bulunan helyum gazı birkaç saat sonra sızarak dışarı kaçma eğilimi gösterir. (b) İşaret fenerinin ışığı yavaş yavaş azalır ve sonra söner. (c) Dondurulmuş portakal suyu, içine su eklenerek önceki haline dönüştürülür. (d) Bitkilerin büyümesi, fotosentez adı verilen olayın gerçekleşmesini sağlayan güneş enerjisine bağlıdır. (e) Bir kaşık sofrata tuzu bir kase çorba içerisinde çözünür.
- 1.13 Kimyasal simgeleri verilen elementlerin isimlerini söyleyiniz. Li, F, P, Cu, As, Zn, Cl, Pt, Mg, U, Al, Si, Ne. (Çizelge 1.1 ve kitabın ön kapağının iç kısmındaki çizelgeye bakınız)
- 1.14 Aşağıda verilen elementlerin kimyasal simgelerini yazınız. (a) Sezyum, (b) germanyum, (c) galyum, (d) stronsiyum, (e) uranyum, (f) selenyum, (g) neon, (h) kadmiyum (Çizelge 1.1 ve kitabın ön kapağının iç kısmındaki çizelgeye bakınız).
- 1.15 Aşağıdaki maddelerin her birini element ya da bileşik olarak sınıflandırınız: (a) hidrojen, (b) su, (c) altın, (d) şeker.
- 1.16 Aşağıda verilenleri element, bileşik, homojen karışımı veya heterojen karışım olarak sınıflandırınız. (a) Bir kuyudan alınmış su, (b) argon gazı, (c) sakkaroz, (d) bir şişe kırmızı şarap, (e) tavuklu şehriye çorbası (f) kılcal boruda akan kan, (g) ozon.

Ölçme

Tarama Soruları

- 1.17 Kimyada önemli olan temel SI birimlerinin isimleri nelerdir? Aşağıda verilenlerin SI birimleri nedir? (a) Uzunluk, (b) hacim, (c) kütle, (d) zaman, (e) enerji, (f) sıcaklık.
- 1.18 Aşağıda verilen örnekler ile gösterilen sayıları yazınız. (a) mega-, (b) kilo-, (c) desi-, (d) santi-, (e) mili-, (f) mikro-, (g) nano-, (h) piko-.
- 1.19 Kimyacılar sıvı ve katıların yoğunluğu için genellikle hangi birimleri kullanır? Gaz yoğunluğu için kullanılan birim hangisidir? Farkını açıklayınız.
- 1.20 Laboratuarda ve günlük yaşamda kullanılan Fahrenheit eşeli, Celcius eşeli ve Kelvin eşeli olan üç sıcaklık eşelini açıklayınız.

Problemler

- 1.21 Brom kırmızımsı kahve renkli bir sıvıdır. 586 g bromun hacminin 188 mL olması durumunda, yoğunluğu g/mL cinsinden hesaplayınız.
- 1.22 Çözücü olarak kullanılan ve renksiz organik bir sıvı olan metanolün yoğunluğu 0,7918 g/mL'dir. 89.9 mL sıvının kütlelerini hesaplayınız.
- 1.23 Aşağıdaki sıcaklıkları Celsius veya Fahrenheit derecelerine dönüştürünüz: (a) 95°F, sıcak bir yaz günü sıcaklığı, (b) 12°F, soğuk bir kış günü sıcaklığı, (c) 102°F, yüksek ateş sıcaklığı, (d) bir fırın 1852 °F'da çalıştırılır, (e) -273,15°C (kuramsal olarak ulaşılabilen en düşük sıcaklık).
- 1.24 (a) Genel olarak insan vücudu, beyni ve hayati organları hasar görmeden, sadece kısa bir süre için 105°F sıcaklığa dayanabilir. Bu sıcaklık Celsius derecesi cinsinden nedir? (b) Etilen glikol, araba radyatörlerinde antifriz olarak kullanılan bir organik sıvı bileşiktir. Bu madde -11,5°C'de donar. Etilen glikolün donma sıcaklığını Fahrenheit sıcaklığı cinsinden hesaplayınız. (c) Güneş yüzeyinin sıcaklığı yaklaşık 6300°C'dir. Bu sıcaklık Fahrenheit derecesi cinsinden nedir? (d) Kağıdın tutuşma sıcaklığı 41°F'tır. Bu sıcaklık Celsius derecesi cinsinden nedir?
- 1.25 Aşağıda verilen sıcaklıkları Kelvin derecesine dönüştürünüz: (a) 113°C, kükürdün erime noktası, (b) 37°C, normal vücut sıcaklığı, (c) 357°C, cıvanın kaynama noktası.
- 1.26 Aşağıda verilen sıcaklıkları Celsius derecesine dönüştürünüz: (a) 77 K, sıvı azotun kaynama noktası, (b) 4,2 K, sıvı helyumun kaynama noktası, (c) 601 K, kurşunun erime noktası.

Sayıların Kullanılması

Tarama Soruları

- 1.27 Ondalık gösterim yerine bilimsel gösterim kullanmanın avantajı nedir?
- 1.28 Anlamlı rakamı tanımlayınız. Ölçme ve hesaplamalarda uygun sayıda anlamlı rakam kullanımının önemini tartışınız.

Problemler

- 1.29 Aşağıda verilen sayıları bilimsel gösterimle yazınız: (a) 0.000000027, (b) 356, (c) 47764, (d) 0.096.
- 1.30 Aşağıdaki sayıları ondalık şeklinde gösteriniz: (a) 1.52×10^{-2} , (b) 7.78×10^{-8} .
- 1.31 Aşağıdaki işlemlerin sonuçlarını bilimsel gösterimle yazınız: (a) $145,75 + (2,3 \times 10^{-1})$ (b) $79500 \div (2,5 \times 10^2)$ (c) $(7,0 \times 10^{-3}) - (8,0 \times 10^{-4})$ (d) $(1,0 \times 10^4) \times (9,9 \times 10^6)$

- 1.32** Aşağıdaki işlemlerin yanıtlarını bilimsel gösterimle yazınız:
- (a) $0.0095 + (8.5 \times 10^{-3})$
 (b) $653 \div (5.75 \times 10^{-8})$
 (c) $850000 - (9.0 \times 10^5)$
 (d) $(3.6 \times 10^{-4}) \times (3.6 \times 10^6)$
- 1.33** Aşağıda verilen her bir ölçüm sonucunda kaç tane anlamlı rakam vardır?
- (a) 4867 mil,
 (b) 56 mL,
 (c) 60104 ton,
 (d) 2900 g.
 (e) 40.2 g/cm^3 ,
 (f) 0.0000003 cm,
 (g) 0.7 min.
 (h) 4.6×10^{19} atom.
- 1.34** Aşağıda verilen sayıların her birinde kaç tane anlamlı rakam vardır? (a) 0006 L, (b) 00605 dm, (c) 605 mg, (d) 6055 cm^2 , (e) 960×10^{-3} g, (f) 6 kg, (g) 60 m.
- 1.35** Aşağıdaki işlemleri, deneysel sonuçlarla işlem yapıyor gibi yapınız. Sonuçları doğru birimlerle ve doğru sayıda anlamlı rakamla veriniz.
- (a) $5.6792 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 4.33 \text{ m}$
 (b) $3.70 \text{ g} - 2.9133 \text{ g}$
 (c) $4.51 \text{ cm} \times 3.6666 \text{ cm}$
 (d) $(3 \times 10^4 \text{ g} + 6.827 \text{ g}) / (0.043 \text{ cm}^3 - 0.021 \text{ cm}^3)$
- 1.36** Aşağıdaki işlemleri, deneysel sonuçlarla işlem yapıyor gibi yapınız ve sonuçları doğru birimlerle ve doğru sayıda anlamlı rakam ile veriniz.
- (a) $7310 \text{ km} \div 5.70 \text{ km}$
 (b) $(3.26 \times 10^{-3} \text{ mg}) - (7.88 \times 10^{-5} \text{ mg})$
 (c) $(4.02 \times 10^6 \text{ dm}) + (7.74 \times 10^7 \text{ dm})$
 (d) $(7.8 \text{ m} - 0.34 \text{ m}) / (1.15 \text{ s} + 0.82 \text{ s})$
- 1.37** Üç öğrenciden (A, B ve C) bir etanol örneğinin hacmini belirlemeleri isteniyor. Her öğrenci bir ölçülü silindiri kullanarak hacmi üçer kez ölçüyor. Sonuçlar mililitre cinsinden şöyledir: A (87.1; 88.2; 87.6); B (86.9; 87.1; 87.2); C (87.6; 87.8; 87.9). Doğru hacmi 87.0 mL olduğuna göre, her bir öğrencinin bulduğu sonucu kesinlik ve doğruluk açısından yorumlayınız.
- 1.38** Üç terzi çırağından (X, Y ve Z) pantolonun bir çift dikişini ölçmeleri isteniyor. Her çırak üç ölçüm alıyor. Sonuçlar inç cinsinden şöyledir: X (31.5; 31.6; 31.4); Y (32.8; 32.3; 32.7); Z (31.9; 32.2; 32.1). Doğru uzunluk 32.0 in 'dir. Her bir çırağın ölçme sonuçlarını kesinlik ve doğruluk açısından yorumlayınız.

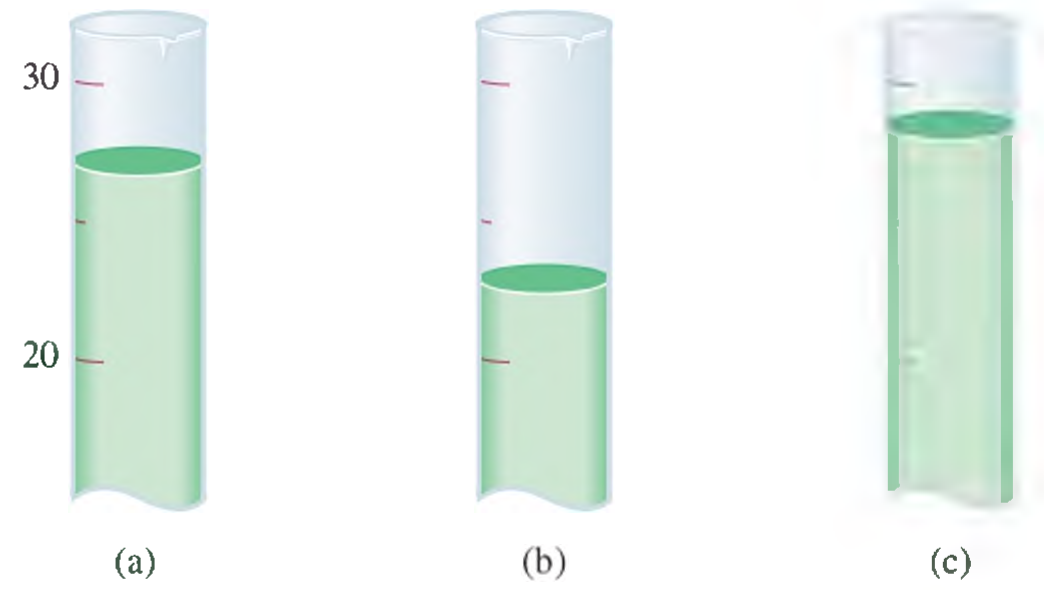
Boyut Analizi

Problemler

- 1.39** Aşağıdaki dönüştürmeleri yapınız: (a) 22.6 m 'yi desimetreye, (b) 25.4 mg 'ı kilograma, (c) 556 mL 'yi litreye, (d) 10.6 kg/m^3 'ü g/cm^3 'e.
- 1.40** Aşağıdaki dönüştürmeleri yapınız: (a) 242 lb 'yi miligrama, (b) 68.3 cm^3 'ü metre küpe, (c) 7.2 m^3 'ü litreye, (d) $28.3 \mu\text{g}$ 'ı pound'a.
- 1.41** Helyumun 25°C 'deki hızı 1225 m/s 'dir. Bu hızı saat başına mil (mph) olarak dönüştürünüz.
- 1.42** Bir güneş yılında (365.24 gün) kaç saniye vardır?
- 1.43** Işık güneşten Dünyaya kaç saniyede ulaşır? (Güneş ile Dünya arasındaki uzaklık 93 milyon mi; ışık hızı $= 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- 1.44** Bir koşucu 8.92 dakikada bir mil koşuyor. Bu hızı (a) in/s, (b) m/min, (c) km/h cinsinden hesaplayınız.
- 1.45** 6.0 ft uzunluktaki bir kişinin ağırlığı 168 lb 'dir. Bu kişinin boyunu metre ve ağırlığını da kg cinsinden hesaplayınız ($1 \text{ lb} = 453.6 \text{ g}$; $1 \text{ m} = 3.28 \text{ ft}$).
- 1.46** Alman otobanının bir kısmında uygulanan hız sınırı saatte 286 kilometredir (km/h). Hız sınırını saatte mil (mph) olarak hesaplayınız.
- 1.47** Bir jet uçağının uçak gemisinin güvertesinden havalanabilmesi için hızının 62 m/s 'ye ulaşması gerekir. Hızı saatte mil (mph) cinsinden hesaplayınız.
- 1.48** İnsan kanının "normal" kurşun içeriği yaklaşık milyonda 0.40 kısımdır (yani milyon gram kan 40 gram kurşun içerir. Buna 40 ppm 'de denir). Milyonda 0.80 kısım (ppm) kurşun değeri tehlikeli kabul edilir. Ortalama kurşun içeriği 0.62 ppm olan $6.0 \times 10^3 \text{ g}$ kan (bir yetişkinin ortalama kan miktarı) kaç gram kurşun içerir.
- 1.49** Aşağıdaki dönüştürmeleri yapınız. (a) 1.42 ışık yılı mil'e (bir ışık yılı astronomide uzaklık ölçümüdür. ışığın bir yılda veya 365 günde kat ettiği mesafedir. ışık hızı $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 'dir). (b) 32.4 yd 'yi santimetreye, (c) $3.0 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ 'yi ft/s 'ye.
- 1.50** Aşağıdaki dönüştürmeleri yapınız: (a) Orta yaştaki bir kadının ortalama ağırlığı olan 70 kg 'ı pound'a, (b) 14 milyar yıl'ı (evrenin yaklaşık yaşı) saniye'ye (bir yılda 365 gün olduğunu varsayınız). (c) 88.6 m^3 'ü litreye.
- 1.51** Alüminyum hafif metallerden biridir (yoğunluğu $= 2.70 \text{ g/cm}^3$). Uçak yapımında, yüksek gerilim hatlarında ve folye olarak kullanılır. Alüminyumun yoğunluğu kg/m^3 cinsinden nedir?
- 1.52** Amonyak gazının yoğunluğu normal koşullarda 0.625 g/L 'dir. Amonyakın yoğunluğunu g/cm^3 olarak hesaplayınız.

Ek Problemler

- 1.53 Aşağıda verilenler için bir tane nitel bir tane de nicel cümle yazınız. (a) su, (b) karbon, (c) demir, (d) hidrojen gazı, (e) sakaroz (şeker kamışı şekeri), (f) tuz tableti (sodyum klorür), (g) cıva, (h) altın, (i) hava.
- 1.54 Aşağıdaki açıklamalardan hangileri fiziksel, hangileri kimyasal özellikleri belirtmektedir? (a) Demir paslanma eğilimindedir. (b) Endüstri bölgelerinde yağmur suları asidik özelliktedir. (c) Hemoglobin moleküllü kırmızı renklidir. (d) Bir bardak su güneşli bir yere bırakılırsa yavaş yavaş gözden kaybolur. (e) Havadaki karbon dioksit, bitkilerdeki fotosentez sırasında çok karmaşık moleküllere döner.
- 1.55 Birleşik Devletlerde 2008 yılında yaklaşık 95,0 milyar lb sülfürik asit üretilmiştir. Bu miktarı tona çeviriniz.
- 1.56 Dikdörtgen şeklindeki metal bir çubuğun yoğunluğunu belirlemek amacıyla bir öğrenci aşağıda verilen ölçümleri yapıyor: uzunluk 8,53 cm; genişlik 2,4 cm; yükseklik 1,0 cm; kütle 52,7064 g. Metalin yoğunluğunu hesaplayınız ve sonucu doğru sayıda anlamlı rakamla veriniz.
- 1.57 Aşağıda verilenlerin kütlelerini hesaplayınız. (a) Yarıçapı 10,0 cm olan altın küre (yarıçapı r olan bir kürenin hacmi $V = (4/3)\pi r^3$ tür), (b) kenar uzunluğu 0,040 mm olan platin küp (platinin yoğunluğu = 21,4 g/cm³), (c) 50,0 mL etil alkol (etil alkolün yoğunluğu = 0,798 g/mL).
- 1.58 Uzunluğu 21,5 cm olan silindirik şeklindeki cam şişe yoğunluğu 0,953 g/mL olan yemeklik yağ ile dolduruluyor. Şişeyi doldurmak için gerekli olan yağın kütlesi 1360 g ise, şişenin iç çapını hesaplayınız.
- 1.59 Aşağıda verilen işlem bir balonun hacmini belirlemek için uygulanır. Balon kuru kuruya tartılır ve daha sonra su ile doldurulur. Balonun boş ve dolu kütlesi sırasıyla 56,12 g, 87,39 g ve suyun yoğunluğu 0,9976 g/cm³ ise, balonun hacmini cm³ cinsinden hesaplayınız.
- 1.60 Oda sıcaklığında sesin havadaki hızı yaklaşık 343 m/s'dir. Bu hızı saatte mil olarak hesaplayınız.
- 1.61 Kütlesi 194,3 g olan bir gümüş (Ag) metal parçası, içerisinde 242,0 mL su bulunan bir ölçülü silindire yerleştiriliyor. Son durumda suyun hacmi 260,5 mL olarak okunuyor. Bu verileri kullanarak gümüşün yoğunluğunu hesaplayınız.
- 1.62 Problem 1.61'de anlatılan deneysel yöntem basit, ancak birçok katının yoğunluğunu belirlemek için yaygın olarak uygulanan yöntemlerden biridir. Buzun yoğunluğunu ölçebileceğiniz benzer bir yöntem tarif ediniz. Özellikle, yapacağınız deney için nasıl bir sıvıya gereksiniminiz olduğunu belirtiniz.
- 1.63 Bir kurşun kürenin çapı 48,6 cm'dir. Bu kürenin kütlesi $6,852 \times 10^5$ g olduğuna göre, kurşunun yoğunluğunu hesaplayınız.
- 1.64 Lityum bilinen en az yoğun elementtir (Yoğunluk: 0,53 g/cm³). $1,20 \times 10^3$ g lityum ne kadar hacim kaplar?
- 1.65 Genellikle evlerde kullanılan tıbbi termometre ile sıcaklık $\pm 0,1^\circ\text{F}$ duyarlılıkla okunabilir. Bu termometrelerin duyarlılığı doktor muayenahanelerinde $\pm 0,1^\circ\text{C}$ olabilir. Her iki termometre ile yapılan ölçmelere göre vücut sıcaklığı $38,9^\circ\text{C}$ olan bir insan için, ölçmedeki hata yüzdesini $^\circ\text{C}$ cinsinden hesaplayınız?
- 1.66 Çok az miktarda vanilin (dondurma ve bazı gıdalarda kullanılan vanilya çiçeği), insan burnu tarafından algılanabilir. Algılanabildiği en küçük değer bir litre havada $2,0 \times 10^{-11}$ g'dır. Vanilinin 50 g'ının piyasa fiyatı 112 dolar olduğuna göre $5,0 \times 10^7$ ft³ hacimli büyük bir uçak hangarında algılanabilir vanilin miktarının fiyatı ne kadardır?
- 1.67 Celsius termometresinde hangi sıcaklıkta okunan değer Fahrenheit termometresindeki değere eşittir.
- 1.68 Etanol'ün erime ($-117,3^\circ\text{C}$) ve kaynama noktasını ($78,3^\circ\text{C}$) esas alan yeni bir termometre geliştirildiğini varsayınız. Bu termometrede etanolün erime noktası 0°S , kaynama noktası 100°S kabul edilmiştir. Burada S yeni sıcaklık eşelinin simgesidir. Bu yeni eşele göre Celsius sıcaklığını elde edebilmek için gereken bağıntıyı türetiniz. Bu termometrede 25°C 'un karşılığı nedir?
- 1.69 Dinlenme halinde olan yetişkin bir insanın saf oksijen ihtiyacı dakikada 240 mL'dir ve bu insan bir dakikada ortalama 12 kez nefes alır. Eğer nefes olarak alınan hava hacimce yüzde 20 oksijen içeriyorsa ve dışarıya verilen nefeste yüzde 16 oksijen bulunuyorsa, nefes başına havanın hacmi ne kadardır? (Nefes alırken alınan hava hacminin nefes verirken verilen hava hacmine eşit olduğunu varsayınız.)
- 1.70 (a) Problem 1.69 ile ilgili olarak, bir yetişkinin bir günde soluyacağı havanın toplam hacmini litre cinsinden hesaplayınız. (b) Bir şehirde yoğun trafikteki hava litrede $2,1 \times 10^{-6}$ L karbon monoksit (zehirli bir gaz) içerir. Bir kişinin günlük ortalama karbon monoksit alımını litre cinsinden hesaplayınız.
- 1.71 Kütleleri 25,0 g olan üç farklı katı pellet örneği, üç ayrı silindirde bulunan 20,0 mL suya ilave ediliyor. Sonuç şekilde gösterildiği gibidir. Kullanılan üç metalin yoğunlukları (A: 2,9 g/cm³), (B: 8,3 g/cm³) ve (C: 3,3 g/cm³) olduğuna göre, her bir pellet örneğini tanımlayınız.

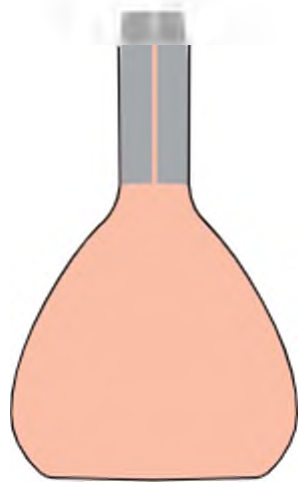


- 1.72** NBA onaylı bir basketbol topunun çevresi 29,6 in'dir. Dünyanın yarıçapının yaklaşık 6400 km olduğu göz önüne alındığında, bu basketbol toplarının kaç tanesi birbirine değerek ekvator çevresinde bir daire oluşturacaktır. Cevabınızı üç anlamlı rakam içeren bir tam sayıya yuvarlayınız.
- 1.73 Bir öğrenciye verilen krozenin, saf platin olup olmadığı belirlenmesi isteniyor. Öğrenci krozeyi önce hava da sonra su (yoğunluğu = 0.9986 g/cm^3) içinde tartıyor ve sırası ile, 860.2 g ve 820.2 g değerlerini elde ediyor. Platinin yoğunluğu 21.45 g/cm^3 olduğuna göre, öğrenci elde ettiği verileri nasıl değerlendirmelidir? (İpucu: Bir sıvı içinde bulunan her cisim, kendi hacmine eşit sıvının ağırlığı kadar bir kuvvetle kaldırılır. Bu kaldırma kuvveti hava için ihmal edilir.)
- 1.74** Pasifik Okyanusunun yüzey alanı ve ortalama derinliği, sırası ile $1.8 \times 10^8 \text{ km}^2$ ve $3.9 \times 10^3 \text{ m}$ 'dir. Okyanusun hacmini litre olarak hesaplayınız.
- 1.75 Kuyumcu birimi "ons" sıklıkla altın (Au) ve platin (Pt) gibi değerli metaller için kullanılır. (1 kuyumcu birimi, ons = 31.103'g dır). (a) Bir madeni altın paranın ağırlığı 2.41 kuyumcu ons'u olduğuna göre, kütlelerini gram cinsinden hesaplayınız. (b) Bir kuyumcu ons'u bir onstan ağır mı, yoksa hafif midir? (1 lb = 16 oz; 1 lb = 453.6 g).
- 1.76** Osmiyum (Os) bilinen en yoğun elementtir (yoğunluk = 22.57 g/cm^3). Çapı 15 cm olan (yaklaşık bir greyfurt büyüklüğünde) küre şeklinde bir Os parçasının kütlelerini pound ve kilogram olarak hesaplayınız. Kürenin hacmi için Problem 1.57'ye bakınız.
- 1.77 Yüzde hata çoğunlukla gerçek ve ölçülen büyüklüklerin mutlak değerleri arasındaki farkın gerçek değere bölünmesi ile elde edilir:
- $$\text{yüzde hata} = \frac{|\text{gerçek değer} - \text{deneysel değer}|}{|\text{gerçek değer}|} \times \%100$$
- Dikey çizgiler mutlak değeri belirtmektedir. Aşağıda verilen ölçme sonuçları için hata yüzdelerini hesaplayınız. (a) Alkolün (etanol) yoğunluğu 0.802 g/mL olarak bulunmuştur. (Gerçek değer: 0.798 g/mL .) (b) Bir altın küpenin analizinde içindeki altın kütlelerinin 0.837 g olduğu bulunmuştur. (Gerçek değer: 0.864 g .)
- 1.78** İnsan vücudundaki elementlerin doğal bolluğu kütlece yüzde cinsinden gösterildiğinde oksijen (O): % 65; karbon (C): % 18; hidrojen (H): % 10; azot (N): % 3; kalsiyum (Ca): % 1.6; fosfor (P): % 1.2 ve diğer elementlerin tamamı % 1.2'dir. 62 kg ağırlığındaki bir kişinin vücudunda bulunan her bir elementin kütlelerini gram cinsinden hesaplayınız.
- 1.79 Bir milin açık havada koşulmasına ilişkin erkekler dünya rekoru 1999 yılında 3 dakika 43.13 saniye'dir. Bu hızda 1500 m'yi koşmak ne kadar süre alır (1 mi = 1609 m).
- 1.80** Güneş'e en yakın ikinci gezegen olan Venüs'ün yüzey sıcaklığı $7.3 \times 10^2 \text{ K}$ 'dir. Bu sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$ ve $^{\circ}\text{F}$ 'a çeviriniz.
- 1.81 Bakırın (Cu) ana filizi olan kalkopirit kütlece yüzde 34.63 Cu içerir. $5.11 \times 10^3 \text{ kg}$ cevherden kaç gram Cu elde edilebilir.
- 1.82** 8.0×10^4 ton altının (Au) madenlerden çıkarıldığı hesaplanmıştır. Altının onsunun fiyatı 948 dolar olduğuna göre bu kadar altının toplam değeri nedir?
- 1.83 1.0 mL deniz suyunda yaklaşık $4.0 \times 10^{-12} \text{ g}$ altın bulunur. Okyanus suyunun toplam hacmi $1.5 \times 10^{21} \text{ L}$ 'dir. Deniz suyunda bulunan altının toplam miktarını gram, değerini de dolar (Problem 1.82'ye bakınız) olarak hesaplayınız. Denizde bu kadar çok altın olduğuna göre neden hiç kimse denizdeki bu cevheri kullanıp zengin olmamaktadır?
- 1.84** Ölçümler 1.0 g demirin (Fe) 1.1×10^{22} Fe atomu içerdiğini göstermiştir. Bir yetişkinin vücudunda bulunan 4.9 g'lık toplam demir miktarı kaç tane Fe atomu içerir.
- 1.85 Dünyanın, yeryüzü olarak adlandırılan dış kısmındaki ince tabaka, dünyanın toplam kütlelerinin yaklaşık % 0.50'sini oluşturmaktadır. ancak bu tabaka hemen hemen tüm elementlerin kaynağıdır (oksijen, azot ve bir kaç diğer gazlar atmosferden sağlanır). Silisyum (Si) yer kabuğunda en çok bulunan ikinci elementtir (kütlece % 27.2). Yerkabuğunda bulunan silisyumun kütlelerini kilogram olarak hesaplayınız. (Dünyanın kütlesi 5.9×10^{21} ton; 1 ton = 2000 lb; 1 lb = 453.6 g'dır)
- 1.86** Bakır atomunun (Cu) yarıçapı yaklaşık olarak $1.3 \times 10^{-10} \text{ m}$ 'dir. 10 cm uzunluğundaki bir bakır çubuğu, atom boyutuna kadar küçültmek için kaç kez bölme işlemi yapmanız gerektiğini hesaplayınız. Bu işlemin yapılabilmesi için uygun bir aletin olduğunu ve 10 cm uzunluğundaki bakır çubuğun tüm atomlarının uç uca bir sıra halinde dizilebildiklerini varsayınız. Yanıtınızı tam sayıya yuvarlayınız.
- 1.87 Otomobil motorunda bir galon benzin yandığında, sera gazı olarak da bilinen ve atmosferin ısınmasına sebep olan 9.5 kg karbon dioksit oluşur. Birleşik Devletlerde 40 milyon otomobilin olduğunu, varsayalım. Her arabanın yılda ortalama 5000 mil yol gittiğini ve bir galon benzinle 20 mil gidebildiğini kabul ederek, yılda atmosfere bırakılan karbon dioksit gazının kütlelerini kilogram olarak hesaplayınız.
- 1.88** İnce bir alüminyum (Al) levhanın toplam alanı 1.000 ft^2 ve kütlesi 3.636 g 'dır. Alüminyum levhanın kalınlığı milimetre olarak ne kadardır? (Al'un yoğunluğu = 2.699 g/cm^3 .)
- 1.89 Aşağıda verilenlerin homojen karışım mı ya da heterojen karışım mı olduğunu yorumlayınız: (a) kapalı bir şişe içersindeki hava ve (b) New York şehri üzerindeki hava.
- 1.90** Klor yüzme havuzlarını dezenfekte etmek için kullanılır. Bu amaçla kabul edilebilen maksimum klor derişimi 1 ppm klor, yani 1 milyon gram suda 1 g klordur. İçinde 2.0×10^4 galon suyun bulunduğu bir

yüzmeye havuzuna. kütlece % 6,0 klor içeren bir çözeltiden eklenmesi gereken miktarı (mililitre olarak) hesaplayınız. (1 galon = 3,79 L; sıvının yoğunluğu = 1,0 g/mL'dir)

- 1.91 Bir alüminyum silindirin uzunluğu 10,0 cm ve yarıçapı 0,25 cm'dir. Tek bir Al atomunun kütlesi $4,48 \times 10^{-23}$ g olduğuna göre, silindirde bulunan Al atomlarının sayısını hesaplayınız. Alüminyumun yoğunluğu 2,70 g/cm³ tir.

- 1.92 Piknometre sıvıların yoğunluğunun ölçülmesinde kullanılan bir alettir. Piknometre cam bir balon olup, içerisinde kılcal bir boşluk bulunan buzlu camdan yapılmış bir tıpa içerir. (a) Piknometrenin hacmi, 20°C'de yoğunluğu 0,99820 g/mL olan su kullanılarak tayin edilir. Önce piknometrenin boğazına kadar su doldurulur. Tıpa yerleştirildiğinde suyun fazlası tıpadaki kılcal içersinde yükselir. Piknometre daha sonra süzgeç kağıdı ile kurulur. Piknometrenin boş ve dolu kütleleri sırasıyla 32,0764 g ve 43,1195 g olduğuna göre piknometrenin hacmini hesaplayınız. (b) Piknometrenin etil alkolle dolu iken kütlesi 20°C'de 40,8051 g olduğuna göre, etil alkolün yoğunluğunu hesaplayınız. (c) Piknometreler katıların yoğunluğunun ölçülmesinde de kullanılır. Önce, ağırlığı 22,8476 g olan küçük çinko tanecikleri piknometreye konur, daha sonra üzeri su ile doldurulur. Piknometrenin çinko tanecikleri ve su ile toplam kütlesi 62,7728 g olduğuna göre çinkonun yoğunluğu nedir?



- 1.93 Bir altın arayıcısı, 1849 yılında California'da bir torba kumlu altın külçelerini topladı. Altın ve kumun yoğunlukları sırasıyla 19,3 g/cm³, 2,95 g/cm³ ve karışımın yoğunluğu da 4,17 g/cm³ olduğuna göre altının karışımındaki kütlece yüzdesini bulunuz.
- 1.94 Bir molekülün x uzaklığına difüzyonu için gerekli ortalama süre şu ifade ile verilir:

$$t = \frac{x^2}{2D}$$

Burada t saniye cinsinden zaman; D ise difüzyon katsayısıdır. Glikozun difüzyon katsayısı $5,7 \times 10^{-7}$ cm²/s olduğuna göre, bir glikoz molekülünün yaklaşık 10 μ m büyüklüğünde olan bir hücreye difüzyonu için gerekli süreyi hesaplayınız.

- 1.95 İnsan beyninin ağırlığı yaklaşık 1 kg olup, yaklaşık 10^{11} hücre içerir. Her bir hücrenin, yoğunluğu 1 g/mL olan su ile tamamen dolu ve bir hücrenin de küp şeklinde olduğunu farz ederek hücrenin kenar uzunluğunu hesaplayınız. Hücreler tek hücre kalınlığında ince bir tabaka oluşturmak üzere yayılırsa, yüzey alanı m² cinsinden ne kadar olur?

- 1.96 (a) Karbon monoksit (CO), kanda bulunan oksijen taşıyıcı hemoglobine çok hızlı bağlanması sebebiyle zehirli bir gazdır. Karbon monoksitin hacimce $8,00 \times 10^2$ ppm'lik derişimi insanlar için öldürücü olarak kabul edilir. Uzunluğu 17,6 m; genişliği 8,80 m ve yüksekliği 2,64 m olan bir odadaki karbon monoksitin hacmini litre cinsinden hesaplayınız. (b) Uzun süre cıva (Hg) buharına maruz kalmak nörolojik bozukluklara ve solunum problemlerine neden olabilir. Güvenli hava kalitesi için, cıva buharının derişimi 0,050 mg/m³ ün altında olmalıdır. Bu değeri g/L'ye çeviriniz. (c) Tip II diyabet testinin uygulanması için, kan şekeri (glikoz) seviyesi 120 mg/dL değerinin altında olmalıdır. Bu değeri mililitrede mikrogram (µg/mL) olarak çeviriniz.

- 1.97 Bir banka gişe memuru müşterileri için "bir dolarlık" bozuk para setleri oluşturdu. Her set 3 tane çeyrek, bir tane 5 sent ve 2 tane de 10 sentten oluşmaktadır. Bozuk paraların kütleleri çeyrek 5,645 g; 5 sent 4,967 g; 10 sent 2,316 g'dır. 33,871 kg çeyrek, 10,432 kg 5 sentlik ve 7,990 kg 10 sentlik bozuk para kullanılarak en fazla kaç set oluşturulabilir. Oluşturulan bozuk para setlerinin toplam kütlesi g cinsinden ne kadardır?

- 1.98 Bir ölçülü silindir 40,00 mL işaret çizgisine kadar madeni yağ ile dolduruluyor. Silindirin madeni yağ ilave edilmeden ve edildikten sonraki kütleleri sırasıyla 124,966 g ve 159,446 g'dır. Başka bir deneyde, kütlesi 18,713 g olan metal bir bilye silindire yerleştiriliyor ve silindir tekrar 40,00 mL işaret çizgisine kadar madeni yağ ile dolduruluyor. Bilye ve madeni yağın toplam kütlesi 50,952 g olduğuna göre bilyenin yoğunluğunu ve yarıçapını hesaplayınız. [Yarıçapı r olan bir kürenin hacmi $(4/3)\pi r^3$ tir].

- 1.99 On dokuzuncu yüzyılda bir kimyacı bilinmeyen bir madde hazırladı. Genel olarak, bu maddenin bir element ya da bir bileşik olduğunu kanıtlamanın zor olduğunu düşünür müydünüz? Açıklayınız.

- 1.100 Bronz, bakır (Cu) ve kalay (Sn)'dan yapılmış bir alaşımdır. Yarıçapı 6,44 cm ve uzunluğu 44,37 cm olan bir bronz silindirin kütlesini hesaplayınız. Bronzun bileşimi % 79,42 Cu ve % 20,58 Sn olup, Cu ve Sn'ın yoğunlukları sırasıyla 8,94 g/cm³ ve 7,31 g/cm³ tir. Bu hesaplamayı yaparken hangi varsayımlarda bulunmalıyız?

- 1.101 Size bir sıvı verilmiş olsun. Bu sıvının bir saf madde mi yoksa homojen bir karışım mı olduğunu göstermek için izleyeceğimiz basamakları kısaca açıklayınız.

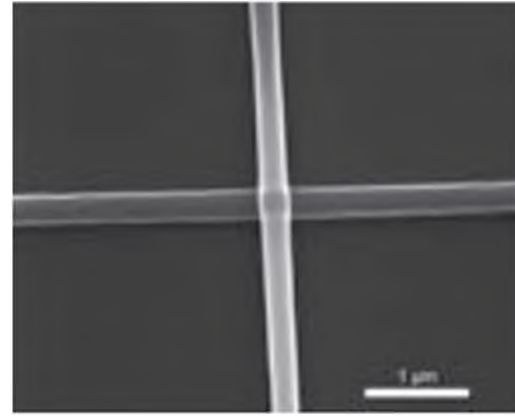
- 1.102** Bir kimyacı homojen bir karışım oluşturmak üzere A ve B sıvılarını karıştırıyor. A sıvısının yoğunluğu 2,0514 g/mL ve B sıvısının yoğunluğu da 2,6678 g/mL'dir. Kimyacı küçük bir cismi bu karışımın içine bıraktığında cismin asılı kaldığını gözlemliyor yani cisim ne batıyor ne de yüzüyor. Sıvı karışımı hacimce % 41,37 A ve % 58,63 B sıvısından oluşuyorsa, metalin yoğunluğu nedir? Bu işlem genel olarak katıların yoğunluğunun tayini için kullanılabilir mi? Bu yöntem uygulanırken hangi varsayımlar yapılmaktadır?
- 1.103** Tum, mide ekşimesi (asit hazımsızlığı) için yaygın bir çözümdür. Tipik bir Tum tablet kalsiyum karbonat ve bazı inert maddeler içerir. Tablet mideye alın-

dığında, mide sıvısı (hidroklorik asit) ile karbondioksit oluşturmak üzere tepkime verir. 1,328 g'lık bir tablet 40,00 mL hidroklorik asit (yoğunluğu: 1,140 g/mL) ile tepkime verdiğinde karbondioksit gazı oluşuyor ve çözelti 46,699 g geliyor. Karbon dioksit gazının yoğunluğu 1,81 g/L ise, açığa çıkan karbon dioksit gazını litre cinsinden hesaplayınız.

- 1.104** Hacmi 250 mL olan cam bir şişe, 20°C'daki 242 mL su ile dolduruluyor ve ağzı sıkıca kapatılıyor. Daha sonra, bir gece boyunca ortalama - 5°C olan bir sıcaklıkta, dışarıda bırakılıyor. Ne olacağını tahmin ediniz? Suyun yoğunluğu 20°C ve - 5°C'de sırasıyla 0,998 g/cm³ ve 0,918 g/cm³ tür.

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 1.105** Bir mol karıncanın kütlesi ne kadardır? (*faýdalanylacak bilgi:* Bir mol, atom veya atom altı tanecikler için kullanılan bir birimdir. 1 mol yaklaşık 6×10^{23} tanecik içerir. 1 cm uzunluğundaki bir karıncanın kütlesi yaklaşık 3 mg'dır).
- 1.106** 80 yaşındaki bir kişinin ömrü boyunca uykuda geçirdiği zaman yıl cinsinden ne kadardır?
- 1.107** Birleşik Devletlerde dört kişilik bir ailenin evdeki günlük su tüketimi galon cinsinden ne kadardır?
- 1.108** Bowling salonları genel olarak kütleleri tam sayılarla belirtilen 8 lb'den 16 lb'ye kadar bowling toplarını bulundurur. Yönetmeliğe göre bowling toplarının çapı 8,6 in'dir. Böyle bir bowling topunun suda yüzmesini bekler misiniz?
- 1.109** Çapları 100 nm – 300 nm olan “nanoliflerin” kaynaştırılmasıyla çok küçük hacme sahip birleşme noktaları oluşur. Bu küçük hacimler birkaç molekülün yer aldığı tepkimelerin gerçekleşmesine olanak sağlar. İç çapı 200 nm olan bu tür iki lif arasında oluşan birleşme noktası hacmini litre cinsinden tahmin ediniz. Okunan ölçek 1 µm'dir.



- 1.110** Birleşik Devletlerdeki binek otomobillerinin yıllık benzin tüketimini tahmin ediniz.
- 1.111** Toplam deniz suyu miktarını litre cinsinden tahmin ediniz.
- 1.112** Bir yetişkinin kanının hacmini litre cinsinden tahmin ediniz.
- 1.113** Işık bir nanosaniyede ne kadar uzağa gider?
- 1.114** Bir NBA oyuncusunun profesyonel bir basketbol oyununda ne kadar mesafe kat ettiğini mil cinsinden tahmin ediniz.
- 1.115** Su muhafaza edilirken, kimyacılar haznedeki suyun buharlaşma hızını azaltmak amacıyla, su yüzeyini bazı inert malzemelerden yapılmış ince bir film tabakası ile kaplarlar. Benjamin Franklin tarafından üç asır önce bulunmuş olan bu teknik çığır açmıştır. Franklin 0,10 mL yağın 40 m² lik bir alana sahip su yüzeyine yayılabileceğini keşfetti. Yağın *tek tabaka* oluşturduğunu yani tabakanın tek bir molekül kalınlığında olduğunu farz ederek, her bir yağ molekülünün uzunluğunu tahmin ediniz (1 nm = 1×10^{-9} m.)

Alıştırma Cevapları

- 1.1** 96,5 g. **1.2** 341 g. **1.3** (a) 621,5 °F, (b) 78,3°C, (c) - 196°C. **1.4** (a) İki. (b) Dört. (c) Üç. (d) İki. (e) İki veya üç. **1.5** (a) 26,76 L. (b) 4,4 g, (c) $1,6 \times 10^7$ dm³. (d) 0,0756 g/

- mL, (e) $6,69 \times 10^4$ m. **1.6** 2,36 lb. **1.7** $1,08 \times 10^5$ m³. **1.8** 0,534 g/cm³. **1.9** 0,03 g.

KİMYANIN Gizemi

Dinozorların Yok Oluşu

Milyonlarca yıl yeryüzünde yaşama egemen olan dinozorlar aniden ortadan yok olmuşlardır. Bu sırrı çözmek amacıyla paleontologlar yeryüzü kabuğunun değişik katmanlarındaki kayalarda bulunan fosil ve iskelet kalıntılarını incelediler. Araştırmacılar elde ettikleri bilgileri kullanarak, belirli jeolojik dönemler boyunca yeryüzünde var olan türlerin



haritasını oluşturdular. Ayrıca, 65 milyon yıl önce gerçekleşen Kretase döneminden hemen sonra oluşan kayaçlarda dinazor iskeleti kalıntılarının olmadığını da ortaya koydular. Bu sebeple 65 milyon yıl önce dinozorların soyunun tükendiği varsayılır.

Dinazorların ortadan yok olmalarını açıklamak üzere ileri sürülen hipotezler arasında besin zincirindeki aksaklıklar ve çok şiddetli volkanik patlamaların sebep olduğu büyük iklim değişiklikleri vardır. Ancak 1977 yılına kadar herhangi bir hipotez için ikna edici bir kanıt bulunamamıştır. O sırada İtalya’da araştırma yapan bir grup paleontolog, Gubbio yakınlarındaki bir yerleşim yerinde çok şaşırtıcı bulgular elde ettiler. Kretase dönemi sırasında oluşmuş çökeltilerin üzerine biriken kil tabakasının (bu nedenle Kretase döneminden sonra ortaya çıkan olayları kaydeden bir katman) kimyasal analizi şaşırtıcı bir şekilde yüksek miktarda iridyum (Ir) elementinin varlığını ortaya çıkardı. İridyum, asteroitlerde nispeten bol bulunan ancak yerkabuğunda çok nadir bulunan bir elementtir.

Bu araştırma, dinazorların soyunun tükenmesini ortaya koyan aşağıdaki hipotezin geliştirilmesini sağladı. Bulunan iridyum miktarı dikkate alındığında, bilim insanları çapı birkaç mil olan çok büyük bir asteroitin Dünyaya çarptığını, bu zamanda dinazorların soyunun tükenildiğini ileri sürdüler. Asteroitin, dünyaya çarptığı yerdeki etkisi o kadar şiddetli olmuştur ki, bu etki büyük miktardaki kaya, toprak ve diğer cisimlerin tam anlamıyla buharlaşmasına neden olmuştur. Oluşan toz ve kalıntı havaya yayılarak güneş ışınlarının aylarca, beklide yıllarca dünyaya gelmesini engellemiştir. Güneş ışınının yeterli olmaması sebebiyle pek çok bitki büyüyememiştir. Aslında, pek çok bitki türünün bu zamanda bir anda yok olduğunu fosil kayıtları doğrulamaktadır. Sonuç olarak pek çok ot obur hayvan telef olmuş, buna bağlı olarak etobur hayvanlar da açlıktan ölmeye başlamışlardır. Yiyecek kaynaklarındaki azalma şüphesiz, daha fazla miktarda yiyecek ihtiyacı olan büyük hayvanları küçük hayvanlara göre hızla ve daha ciddi bir şekilde etkilemiştir. En irilerinin ağırlığı yaklaşık 30 ton’a kadar ulaşabilen devasa dinazorlar yiyeceğin tükenmesi nedeniyle ortadan yok olmuşlardır.

Kimyasal İpuçları

1. Dinazorların yok oluşlarına ilişkin araştırma, bilimsel yöntemle nasıl gösterilir?
2. Asteroit çarpma hipotezini deneyebileceğiniz iki yöntem öneriniz.
3. Sizin kişisel görüşünüze göre, dinazorların yok oluş kuramı olarak asteroit çarpmasını sebep göstermek savunulabilir mi?
4. Mevcut kanıtlar asteroit kütlelerinin yaklaşık % 20’sinin toza dönüştüğünü ve bu tozların atmosferin üst tabakasının üzerine yerleşerek Dünya’nın üzerini tamamen kapladığını göstermektedir. Bu toz yeryüzünde yaklaşık $0,02 \text{ g/cm}^2$ tabaka oluşturmuştur. Asteroitin yoğunluğu yaklaşık 2 g/cm^3 ’dür. Asteroitin küre şeklinde olduğunu farz ederek, kütlelerini kilogram ve ton cinsinden hesaplayınız ve yarıçapını da metre cinsinden hesaplayınız. (Dünya’nın alanı $5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$ ve $1 \text{ lb} = 453,6 \text{ g}$ ’dır). (Kaynak: *Consider a Spherical Cow – A course in Environmental problem Solving* by J. Harte, Univercity Science Books, Mill Valley, CA 1988. İzin alınarak kullanılmıştır.)

Atomlar, Moleküller ve İyonlar



Marie ve Pierre Curie'yi laboratuvarında çalışırken gösteren resim. Curie'ler birçok radyoaktif element üzerinde çalıştı ve bunları tanımladı.

Bölüm Başlıkları

- 2.1 Atom Kuramı
- 2.2 Atomun Yapısı
- 2.3 Atom Numarası, Kütle Numarası ve İzotoplar
- 2.4 Periyodik Çizelge
- 2.5 Moleküller ve İyonlar
- 2.6 Kimyasal Formüller
- 2.7 Bileşiklerin Adlandırılması
- 2.8 Organik Bileşiklere Giriş

Toplu Bakış

- Maddenin temel birimlerinin incelenmesine tarihi bir bakış ile başlayalım. Modern atom kuramı John Dalton tarafından ondokuzuncu yılda ortaya konulmuştur. Dalton, elementlerin atom adı verilen çok küçük taneciklerden oluştuğunu, belli bir elementin bütün atomlarının birbirinin aynı olduğunu, ancak bunların tüm diğer elementlerin atomlarından farklı olduğunu ileri sürmüştür. (2.1)
- Bilim insanları, yapılan deneylerden atomun proton, elektron ve nötron adı verilen üç temel parçacıktan oluştuğunu öğrenmişlerdir. Proton artı bir yüklüdür, elektron eksi bir yüklüdür, nötron ise yüksüzdür. Protonlar ve nötronlar, atomun merkezinde çekirdek adı verilen çok küçük bir bölgede bulunurlar; elektronlar ise çekirdekten belli bir mesafede, çekirdek etrafına dağılmışlardır. (2.2)
- Atomları tanımlamanın yollarını öğreneceğiz. Atom numarası çekirdekteki proton sayısıdır; farklı elementlerin atomları farklı atom numaralarına sahiptir. İzotoplar aynı elementin atomlarıdır, ancak izotopların içeriğindeki nötron sayıları farklıdır. Kütle numarası bir atomdaki proton ve nötron sayılarının toplamıdır. Atom elektriksel açıdan yüksüz olduğundan, atomdaki proton sayısı elektron sayısına eşittir. (2.3)
- Bundan sonra, elementlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre periyodik çizelge adı verilen bir cetvelde nasıl gruplar halinde dizildiklerini göreceğiz. Periyodik çizelge sayesinde elementleri metal, yarı metal ve ametal olarak sınıflandırabilir ve özellikleri arasında sistematik bir bağıntı kurabiliriz. (2.4)
- Çoğu elementlerin atomlarının etkileşerek bileşikleri oluşturduğunu göreceğiz. Bileşikler, moleküllerden oluşan moleküler bileşikler ve pozitif ile negatif yüklü iyonlardan oluşan (katyonlar ve anyonlardan) iyonik bileşikler olarak sınıflandırılırlar. (2.5)
- Molekülleri ve iyonik bileşikleri göstermek için kimyasal formülleri (molekül formülleri ve kaba formüller) ve modelleri kullanmayı öğreneceğiz. (2.6)
- İnorganik bileşiklerin adlandırılmasında kullanılacak olan bir dizi kuralları öğreneceğiz. (2.7)
- Son olarak daha ilerideki bir bölümde ayrıntılı olarak göreceğimiz organik dünyayı burada kısaca inceleyeceğiz. (2.8)

Eski çağlardan beri insanlar maddenin doğası üzerinde kafa yormuşlardır. Maddenin yapısıyla ilgili modern fikirler ondokuzuncu yüzyılın başlarında Dalton'un atom kuramı ile oluşmaya başlamıştır. Şimdi artık biliyoruz ki tüm maddeler atomlar, moleküller ve iyonlardan oluşmuştur. Kimyanın tümü de bir şekilde bu türlerle ilgilidir.

2.1 Atom Kuramı

Mılatan önce beşinci yüzyılda, Yunan filozofu Democritus, bütün maddeleri, bölünemez veya kesilemez anlamında *atomos* olarak adlandırılan çok küçük, bölünmez taneciklerden oluştuğunu öne sürdü. Democritus'un bu fikri, özellikle Plato ve Aristo gibi çoğu çağdaşları tarafından kabul edilmemekle birlikte, bir biçimde uzun süre varlığını sürdürmüştür. İlk bilimsel araştırmalardan elde edilen deneysel kanıtlar "atom" kavramına destek sağlamış ve zamanla element ve bileşiklerin modern tanımlarının yapılmasına yol açmıştır. Atom adını verdiğimiz, maddenin bölünmez yapı taşlarının açık tanımı, 1808 yılında, bir İngiliz bilim insanı ve öğretmen olan John Dalton tarafından yapılmıştır.

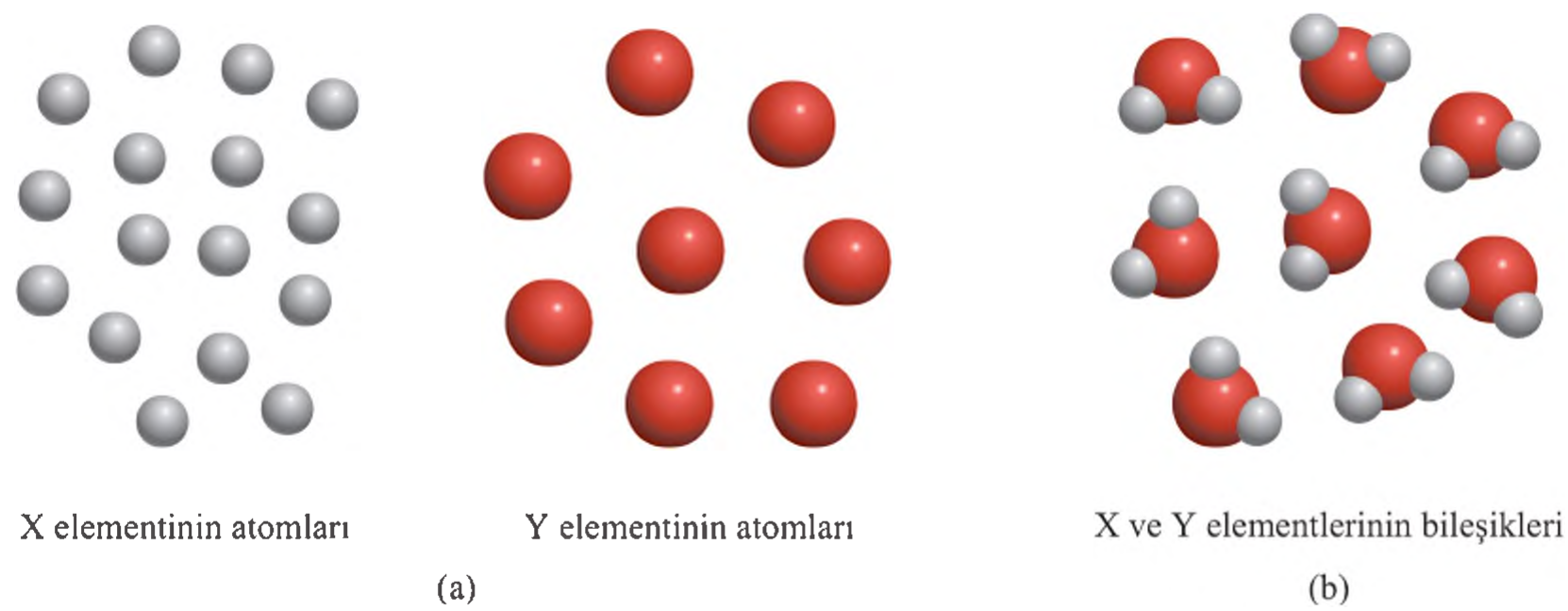
Dalton'un çalışmaları kimyada modern çağın başlangıcıdır. Dalton atom kuramı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Elementler atom adı verilen son derece küçük taneciklerden oluşurlar.
2. Belli bir elementin bütün atomları birbirinin aynıdır; yani bu atomların boyutları eşittir, hepsi aynı kütleye sahiptir ve kimyasal özellikleri aynıdır. Ancak, bir elementin atomları diğer bütün elementlerin atomlarından farklıdır.
3. Bileşikler birden çok elementin atomlarından oluşmuştur. Herhangi bir bileşikteki iki elementin atom sayılarının oranı ya bir tam sayı, ya da basit bir kesirdir.
4. Kimyasal tepkimeler, yalnızca atomların birbirlerinden ayrılması, birbirleri ile birleşmesi ya da yeniden düzenlenmesinden ibarettir; atomların yok olmasına ya da oluşmasına yol açmaz.

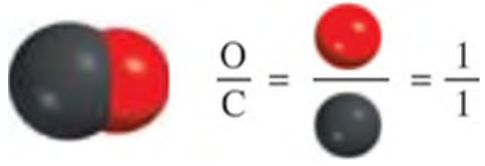
Şekil 2.1'de yukarıdaki son üç varsayım şematik olarak gösterilmiştir.

Dalton'un atom kavramı Democritus'ununkinden çok daha ayrıntılı ve spesifik (atoma özgü) idi. Örneğin, 2. varsayımda bir elementin atomlarının diğer bütün elementlerin atomlarından farklı olduğu belirtilmiştir. Dalton, atomun yapısını veya içeriğini açıklamaya hiç yeltenmediği ve atomun gerçekte nasıl bir şey olduğu hakkında fikri olmadığı halde hidrojen ve oksijen gibi elementlerin farklı özellikler gösterme-

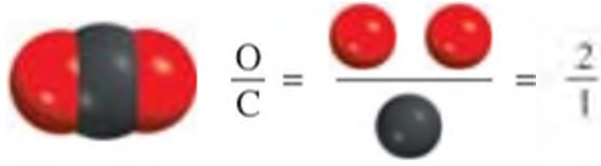
¹John Dalton (1766-1844) . İngiliz kimyacı, matematikçi ve filozof. Atom kuramının yanı sıra Dalton birçok gaz yasasını bulmuş, ve kendi hastalığı ile ilgili olan renk körlüğünün ilk ayrıntılı tanımlamasını yapmıştır. Dalton sıradan bir deneyci, dil ve hayal gücü zayıf olan birisi olarak tanımlanır. Boş vakitlerinde tek yaptığı, perşembe öğleden sonraları açık havada bowling oynamaktır. Belki de ona atom kuramı fikrini veren tahta bowling toplarının görüntüsüydü.



Karbon monoksit



Karbondioksit



Karbon monoksitteki
oksijenin karbon
dioksitteki oksijene oranı

Şekil 2.2 Katlı oranlar yasasına bir örnek.

sinin, sadece hidrojen atomlarının oksijen atomları ile aynı olmamasıyla açıklanabileceğini biliyordu.

3. varsayımda, bir bileşik oluşturabilmek için belli elementlerin belirli sayıda atomlarına gereksinim olacağına işaret edilmektedir. Bu fikir, Fransız kimyacı Joseph Proust'un 1799 yılında yayınladığı bir yasanın uzantısıdır. Proust'un **sabit oranlar yasası**, bir bileşiğin farklı örneklerinde, bileşiği oluşturan elementlerin kütlece daima aynı oranda bulunduğunu belirtir. Örneğin, farklı kaynaklardan alınmış karbon dioksit gazı örneklerini analiz edersek, örneklerin hepsinde karbon oksijen oranının kütlece aynı olduğunu buluruz. Böylece, bir bileşikteki elementlerin kütlelerinin oranı sabit olduğuna göre, bileşikteki elementlerin atomlarının oranı da sabit olmalıdır.

Dalton'un üçüncü varsayımı, diğer bir önemli yasa olan **katlı oranlar yasasını** da destekler niteliktedir. Bu yasaya göre, *iki element birden fazla bileşik oluşturmak üzere birleşebilirse, bir elementin belli bir kütlesi ile birleşen diğer elementin farklı kütleleri arasında küçük tam sayılı bir oran vardır*. Dalton kuramı katlı oranlar yasasını basit bir biçimde açıklar: Aynı elementleri içeren farklı bileşiklerde, birleşen elementlerin atomlarının sayısı farklıdır. Örneğin, karbon oksijen ile iki tane kararlı bileşik oluşturur. Bunlar karbon monoksit ve karbon dioksittir. Modern ölçüm teknikleri, karbon monoksitte bir karbon atomu ile bir oksijen atomunun, karbon dioksitte ise bir karbon atomu ile iki oksijen atomunun birleşmiş olduğunu gösterir. Buna göre karbon monoksitteki oksijenin karbon dioksitteki oksijene oranı 1:2'dir. Bu sonuç katlı oranlar yasası ile uyum içindedir (Şekil 2.2).

Dalton'un dördüncü varsayımı, *madde yoktan var edilemez ve varken yok edilemez* diye bilinen **kütlenin korunumu yasasının*** başka bir ifadesidir. Kimyasal tepkimelerde maddeyi oluşturan atomlar değişmediğine göre, kütlenin de yok olmayacağı açıktır. Dalton'un, maddenin doğasına ilişkin bu zekice önsezisi, ondokuzuncu yüzyılda kimyanın hızla gelişmesinde en önemli itici güç olmuştur.

Kavramların Değerlendirilmesi

A (mavi) ve B (kavuniçi) elementlerinin atomları aşağıda gösterilen iki bileşiği oluşturur. Bu bileşikler katlı oranlar yasası ile uyumlu mudur?

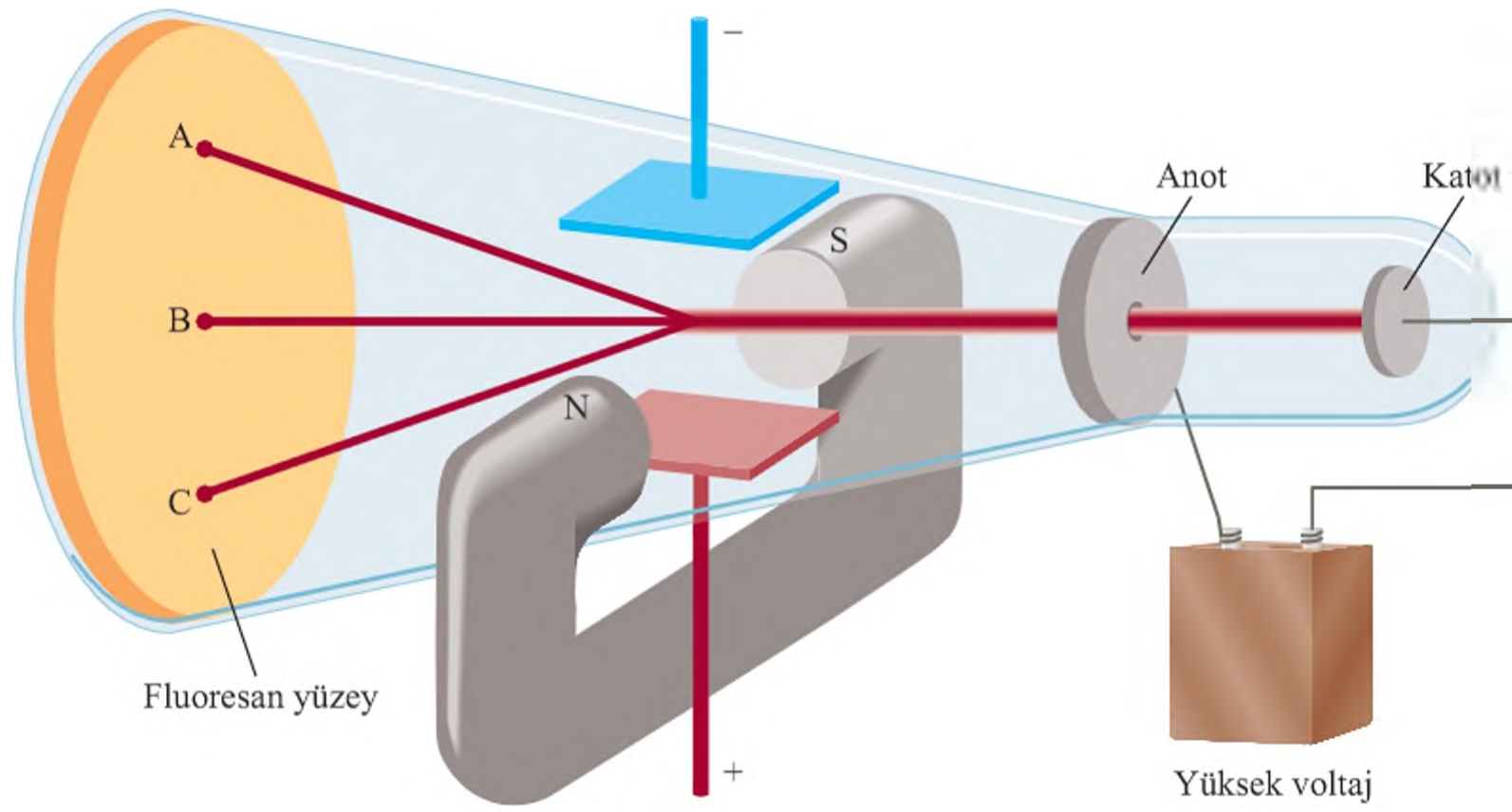


2.2 Atomun Yapısı

Dalton atom kuramına göre **atomu**, kimyasal bir bileşime girebilen, elementin temel birini olarak tanımlayabiliriz. Dalton, atomu hem çok çok küçük hem de bölünemez olarak düşünmüştür. Oysa, 1850'li yıllarda başlayıp yirminci yüzyıla kadar uzanan araştırmalar, atomların bir içsel yapısının olduğunu, yani atomların *atom altı tanecikler* adı verilen daha da küçük taneciklerden oluştuğunu açıkça göstermiştir. Bu araştırmalar elektron, proton ve nötronların keşfine yol açmıştır.

¹Joseph Louis Proust (1754- 1826). Fransız kimyacı. Prust üzümden şekeri ayırıp elde eden ilk kişidir.

¹Albert Einstein'a göre kütle ve enerji, *kütle-enerji* adı verilen tek bir olgunun farklı biçimleridir. Kimyasal tepkimelerde çoğu zaman ısı, veya enerjinin başka bir türü, kazanılır ya da kaybedilir. Böylece bir tepkimede enerji kaybedildiğinde kütle kaybı da olur. Ancak, radyoaktif tepkimeler (bakınız Bölüm 19) dışında, kimyasal tepkimelerde meydana gelen kütle değişimleri ölçilemeyecek kadar küçüktür. Bu nedenle pratikte kütlenin korunumu her zaman geçerlidir.



Şekil 2.3 Katot ışınlarının hareket ettiği yöne dik konumda bir elektrik alanı ve dışsal manyetik alan bulunan bir katot tüpü. N ve S mıknatısın kuzey ve güney kutuplarını göstermektedir. Katot ışınları manyetik alanın etkisinde olduğunda tüpün sonundaki A noktasına, elektrik alanın etkisinde olduğunda C noktasına, bu alanlar bulunmadığı zaman, ya da birbirini yok ettiği zaman ise B noktasına çarpar.

Elektron

1890'larda birçok bilim adamı *radyasyon*, yani *enerjinin uzayda dalgalar halinde yayınlanması ve iletilmesi* konusunda çalışmalar yapmıştır. Bu araştırmalardan elde edilen bilgiler atomun yapısını algılamamıza önemli katkı sağlamıştır. Radyasyon olgusunu incelemek için kullanılan araçlardan biri, bu günkü televizyon tüpünün öncüsü olan katot ışınları tüpüdür (Şekil 2.3). Katot ışınları tüpü havası neredeyse tamamen boşaltılmış cam bir tüptür. Tüpte bulunan metal levhalar bir yüksek voltaj kaynağına bağlandığında, *katot* adı verilen eksi yüklü levha, görünmeyen bir ışın yayımlar; bu katot ışını, *anot* adı verilen artı yüklü levhaya doğru çekilir ve orada bulunan delikten geçip tüpün diğer ucuna doğru hareket eder. Tüpün diğer ucunun yüzeyi özel bir maddeyle kaplanmıştır; katot ışını bu yüzeye çarptığında kuvvetli flüoresans, yani parlak bir ışık oluşur.

Bazı deneylerde katot ışını tüpünün dışına elektrik yüklü iki levha ve bir mıknatıs yerleştirilmiştir (Şekil 2.3). Manyetik alan etkisinde katot ışını A noktasına, elektrik alanı etkisinde C noktasına çarpar; manyetik ve elektrik alanları birbirlerinin etkisini gidecek şekilde dengelendiğinde veya bu alanlar uzaklaştırıldığında ise katot ışını B noktasına çarpar. Elektromanyetik kurama göre, hareket halinde olan yüklü bir tanecik bir mıknatıs gibi davranır ve içinden geçtiği elektrik veya manyetik alanla etkileşir. Katot ışını artı yüklü levhaya doğru çekilip eksi yüklü levha tarafından itildiği için, bu ışının eksi yüklü taneciklerden oluşması gerekir. Bu *eksi yüklü tanecikleri elektron* olarak tanımlarız. Şekil 2.4, bir mıknatısın katot ışınına etkisini göstermektedir.

Bir İngiliz fizikçisi olan J. J. Thomson*, katot ışını tüpü ve elektromanyetik kuram hakkındaki bilgilerini kullanarak, tek bir elektronun elektriksel yükünün elektronun kütlesine oranını saptamıştır. Thomson'un bulduğu rakam $-1,76 \times 10^8$ C/g'dır. Burada C elektrik yükü birimi olan *coulomb*'dur. Daha sonra, R. A. Millikan, 1908 ile 1917 yılları arasında yaptığı deneylerde, elektronun yükünü çok yüksek duyarlılıkla ölçmeyi başarmıştır. Millikan'ın çalışmaları tüm elektronların yükünün birbirinin aynı olduğunu ispat etmiştir. Millikan deneyinde, havadaki iyonlardan statik yük kapalı minik yağ damlacıklarının hareketini inceledi. Yüklü yağ damlacıklarına elektrik alanı uygulayarak, damlacıkların havada askıda kalmasını sağlamış ve bu damlacıkların hareketini bir

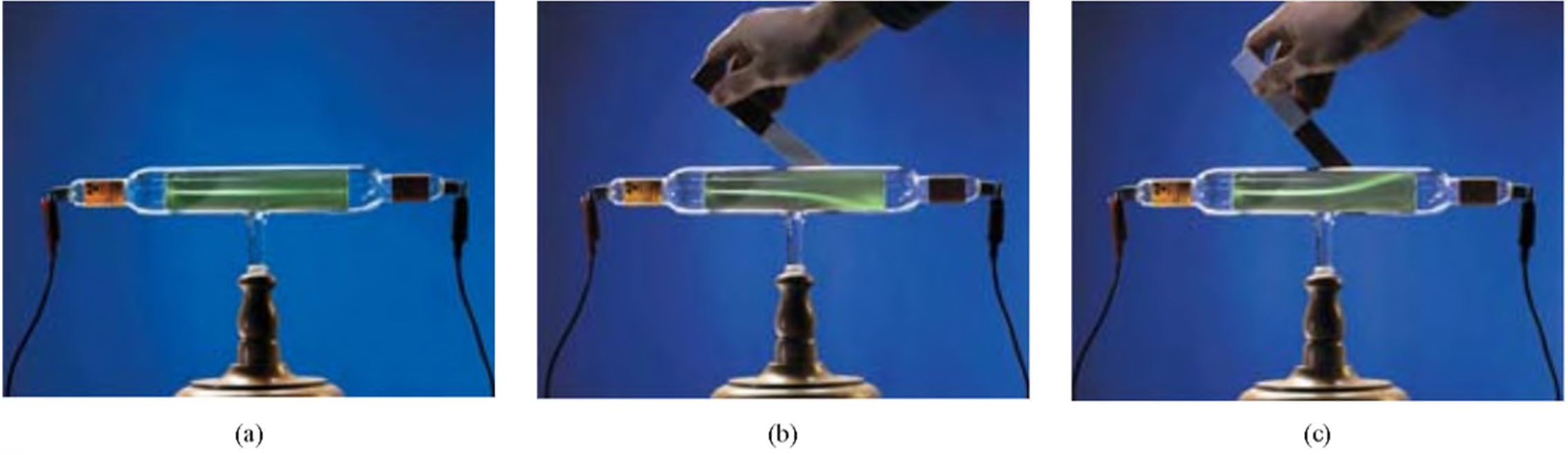
Animasyon
Katot ışını tüpü

Elektronlar normal olarak atomlarla ilişkilendirildiği halde, tek tek de araştırılabilirler.

Animasyon
Millikan yağ damlacığı deneyi

*Joseph John Thomson (1856- 1940). Elektronu keşfettiği için, 1906'da Fizik'de Nobel Ödülü alan İngiliz fizikçi.

†Robert Andrews Millikan (1868- 1953) Elektronun yükünü saptadığı için 1923'te Fizik'de Nobel Ödülü alan Amerikalı fizikçi.



Şekil 2.4 (a) Bir boşalma tüpünde oluşturulan katot ışını katottan (soldan) anoda (sağa) doğru hareket halindedir. Katot ışını gözle görülemediği halde, cam üzerine kaplanmış çinko sülfür tabakasının fluoresansı sayesinde yeşil renkli görünür. (b) Bir mıknatısın kutbu yaklaştırıldığında, katot ışını aşağıya sapar, (c) diğer kutup yaklaştırılırsa ters yöne sapar.

mikroskopla izlemiştir (Şekil 2.5). Elektrostatik bilgilerini de kullanarak bir elektronun yükünün $-1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ olduğunu buldu ve bu verilerden bir elektronun kütlesini aşağıdaki gibi hesapladı:

$$\begin{aligned} \text{Bir elektronun kütlesi} &= \frac{\text{yük}}{\text{yük/kütle}} \\ &= \frac{-1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}}{-1,76 \times 10^8 \text{ C/g}} \\ &= 9,10 \times 10^{-28} \text{ g} \end{aligned}$$

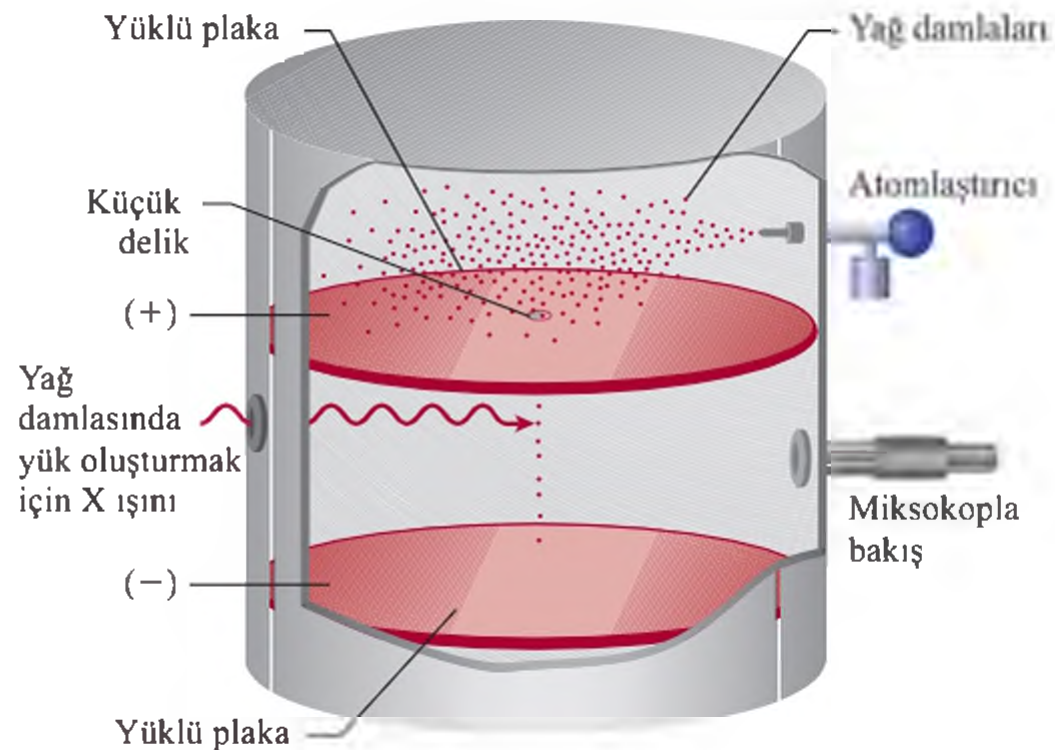
Görüldüğü gibi, elektronun kütlesi aşırı derecede küçük bir kütledir.

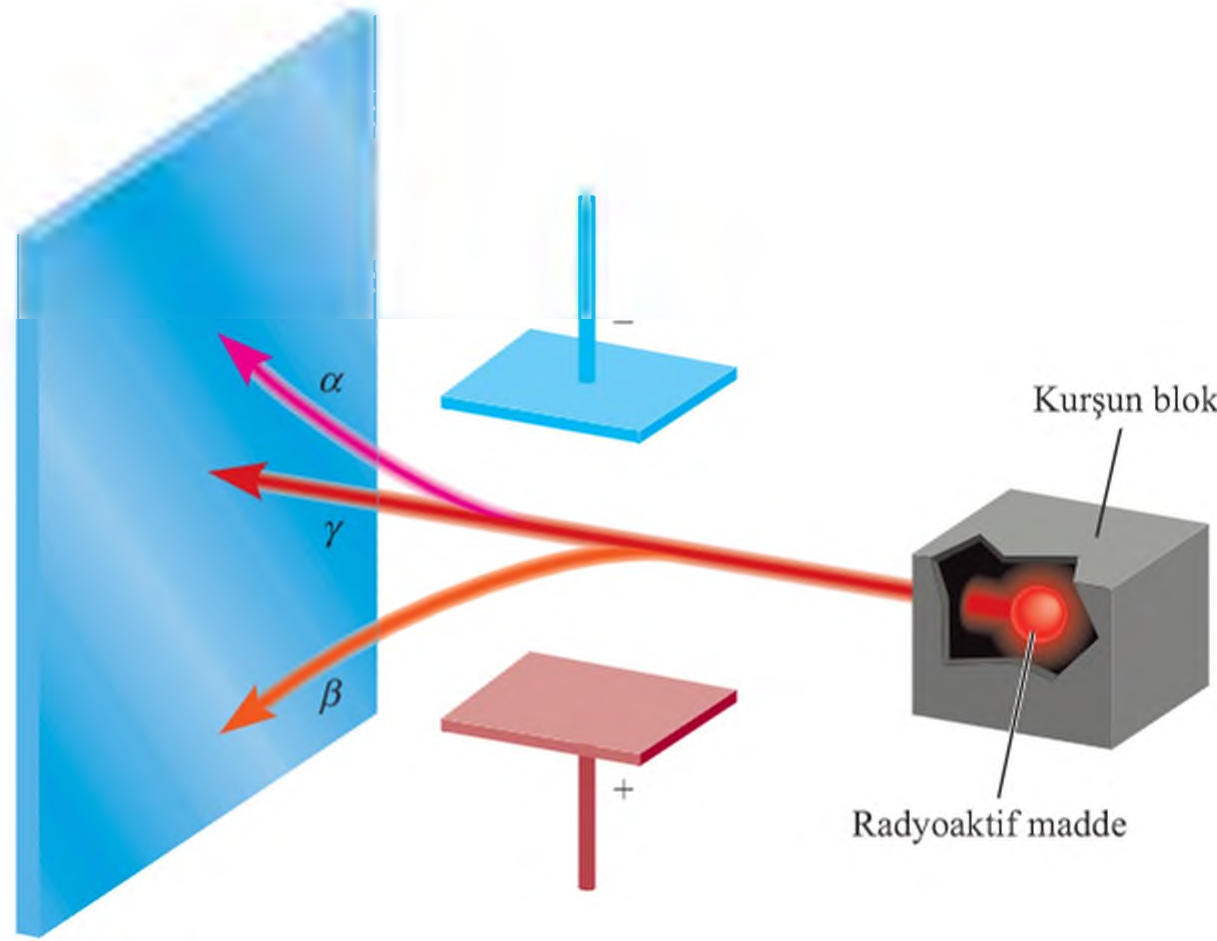
Radyoaktiflik

1895'te, Alman fizikçi Wilhelm Röntgen¹ katot ışınlarının, cam ve metallerin olağan dışı ışın yaymasına neden olduğunu gördü. Yayımlanan bu yüksek enerjili radyasyon maddenin içinden geçebiliyor, fotoğraf filmi levhalarını karartıyor ve çeşitli maddelerin floresan ışık yayımlamasına sebep oluyordu. Bu ışınlar bir mıknatıs etkisi ile sapırlanamadığından, katot ışınları gibi yüklü tanecikler değildi. Röntgen bu ışınları X- ışınları adını verdi, çünkü nitelikleri bilinmiyordu.

¹Wilhelm Konrad Röntgen (1845- 1923). X- ışınlarını keşfettiği için 1901'de Fizik Nobel Ödülü alan Alman fizikçi.

Şekil 2.5 Millikan'ın yağ damlacıkları deneyinin şematik olarak gösterimi.





Şekil 2.6 Radyoaktif elementler tarafından yayımlanan üç tür ışın. β ışınları eksi yüklü taneciklerden (elektronlar) oluşmuştur ve bu nedenle artı yüklü levha tarafından çekilir. α -ışınları için bunun tersi geçerlidir. α -ışınları artı yüklü olup eksi yüklü levhaya doğru çekilirler. γ ışınlarının yükü olmadığından, dışsal elektrik alanı bu ışınların doğrultusunu etkilemez.

Röntgen'in bu buluşundan hemen sonra, Paris'te bir fizik profesörü olan Antoine Becquerel¹, maddelerin flüoresan özelliklerini incelemeye başladı. Tamamen bir tesadüf sonucunda Becquerel, kalın kâğıtla sarılmış fotoğraf filmi levhalarının bu uranyum bileşiğinin etkisinde katot ışınları olmadan da karardığını fark etti. Uranyum bileşiğinden kaynaklanan bu ışınlar aynı X-ışınları gibi yüksek enerjili idi ve bir mıknatıs ile sapıtılamıyorlardı. Ancak X-ışınlarından farklı olarak bu ışınlar kendiliğinden oluşuyordu. Becquerel'in öğrencilerinden biri olan Marie Curie², bu *kendiliğinden tanecik ve (veya) ışın yayımlanması* olgusunu betimlemek üzere **radyoaktivlik** terimini önerdi. Bu nedenle, kendiliğinden radyasyon yayımlayan herhangi bir elemente **radyoaktif element** denir.

Uranyum gibi radyoaktif maddelerin *bozunması* ya da parçalanması ile üç tür ışın oluşur. Bu ışınlardan ikisi, artı ve eksi yüklü metal levhalar tarafından sapıtılır (Şekil 2.6). **Alfa (α) ışınları**, α *tanecikleri* adı verilen *artı yüklü taneciklerden* oluşur ve bu nedenle de artı yüklü levha tarafından sapıtılırlar. **Beta (β) ışınları**, ya da β *tanecikleri*, *elektronlar* olup eksi yüklü levha tarafından sapıtılırlar. Üçüncü çeşit radyoaktif ışın, **gama (γ) ışınları** adı verilen *yüksek enerjili ışınlardan* oluşur. Tıpkı X-ışınları gibi γ ışınları da yüksüz olup, dışsal bir elektrik veya manyetik alan tarafından etkilenmezler.

Proton ve Çekirdek

1900'lü yılların başlarında, atomların iki özelliği açıkça belli olmuştu. Atomlar elektronları içeriyordu ve elektriksel olarak nötr, yani yüksüzdü. Elektriksel açıdan yüksüz olabilmesi için, bir atomda eşit sayıda artı ve eksi yük bulunmalıydı. Bu bilgilere dayanarak, Thomson atomu içinde gömülmüş halde elektronlar bulunan artı yüklü bu küre olarak öneriyordu (Şekil 2.7). Thomson'un bu "kuru üzümli kek" benzeri atom modeli, uzun yıllar atom kuramı olarak kabul gördü.

¹Antoine Henry Becquerel (1852-1908) Uranyumun radyoaktif olduğunu keşfettiği için 1903'de Fizik'de Nobel Ödülü alan Fransız fizikçi.

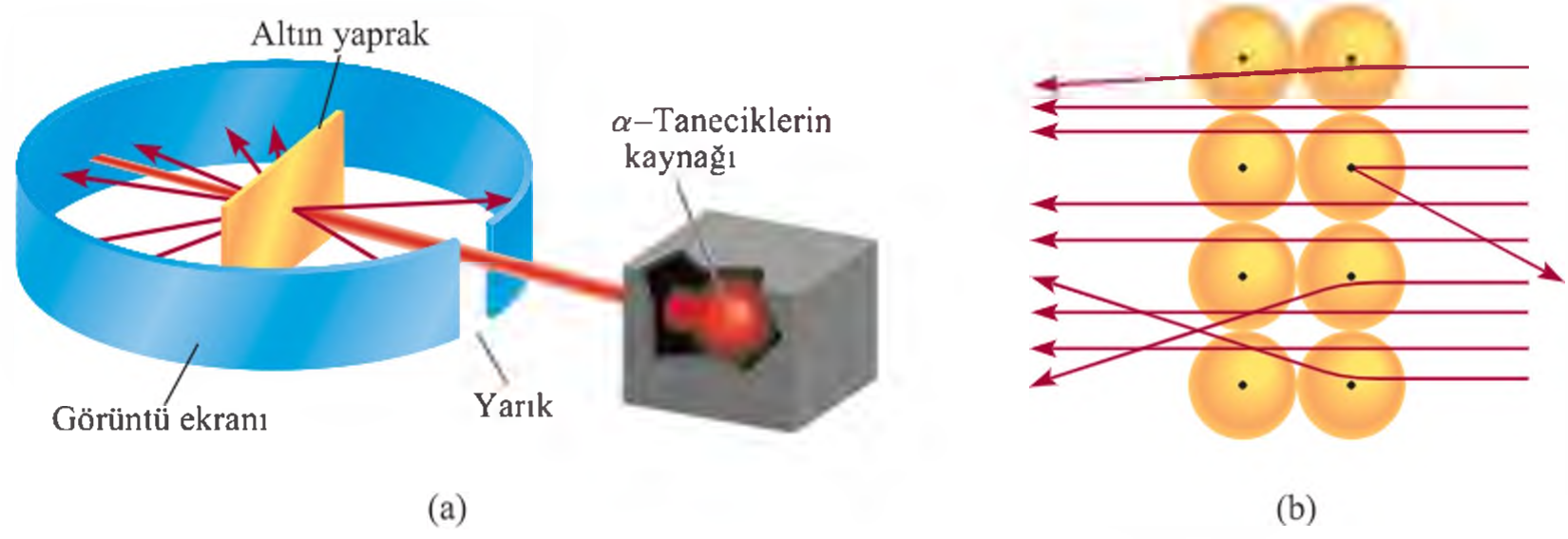
²Marie (Marya Skłodowska) Curie (1867-1934). Polonyada doğmuş kimyacı ve fizikçi. Radyoaktivlik konusundaki çalışmaları için 1903'de Fransız eşi Pierre Curie ile birlikte Fizik Nobel Ödülünü aldılar. Marie Curie, radyoaktif elementler olan radyum ve polonyum üzerindeki araştırmaları için, bu kez 1911'de Kimya Nobel Ödülünü aldı. Kendisi bilim alanında iki kez Nobel Ödülü alan üç kişiden biridir. Bilime yaptığı büyük katkıya rağmen, 1911'de Fransız Bilimler Akademisine üyelik adaylığı, kadın olması nedeniyle bir oy farkla reddedilmiştir! Kızı Irene ve damadı Frederic Joliot-Curie 1935'de Kimya Nobel ödülünü paylaşmışlardır.

Animasyon
Alfa, Beta ve Gama Işınları



Şekil 2.7 Thomson atom modeli. Bu model "üzümlü kek" e benzer. Elektronlar homojen olarak pozitif yüklü küre içerisinde gömülmüş gibidir.

Şekil 2.8 (a) α -Taneciklerinin bir altın yaprak tarafından saçılmasını ölçmek için Rutherford'un tasarladığı deney düzeneği. α -Taneciklerinin çoğu sapma yapmadan ya da çok az sapma ile altın yaprağın içinden geçerlerken bir kaç tanesi geniş açılarla sapar ve zaman zaman bir α -taneciği geri teper. (b) Altın yaprağın içinden geçen ve çekirdek tarafından saptırılan α -taneciklerinin büyütülmüş görünümü.



Animasyon
α-taneciği saçılması

Animasyon
Rutherford's Deneyi

1910'da, önceleri Cambridge üniversitesinde Thomson ile çalışmış olan Yeni Zelandalı fizikçi Ernest Rutherford, α -taneciklerini kullanarak atomun yapısını incelemeye karar verdi. Meslektaşı Hans Geiger ve öğrencisi Ernest Marsden ile birlikte, Rutherford bir dizi deney yaptı. Bu deneylerde radyoaktif bir kaynaktan çıkan α -taneciklerinin çarpacağı hedef olarak, çok ince altın ve başka metal yapraklar kullandı (Şekil 2.8). Deneylerinde α -taneciklerinin çoğunun metal yaprakların içinden sapmadan ya da çok az sapma yaparak geçtiğini gördü. Ancak zaman zaman bazı α -taneciklerinin büyük bir açı ile sapma yaptığını da fark etti. Hatta bazen α -taneciği geldiği yöne doğru geri tepiyordu! Bu çok şaşırtıcı bir buluştu, çünkü Thomson'un atom modeline göre atomun artı yükü tüm atoma o kadar dağılmış ve yoğunluğu o kadar küçüktü ki, α -taneciklerinin atomun içinden hemen hemen hiç sapmadan geçmesi beklenmekteydi. Nitekim Rutherford'un bu buluş karşısında ilk tepkisi, "bu bir kağıt mendile 15 inç lik bir kurşun sıktığımızda kurşunun geri tepip sizi vurması kadar inanılmaz bir olaydı" demek olmuştur.

α -Tanecikleri saçılması deneyinin sonuçlarını açıklayabilmek amacıyla, Rutherford atom yapısı için yeni bir model oluşturdu. Bu modelde atomun büyük bir kısmının boşluktan oluştuğunu öneriyordu. Böyle bir yapıda α -taneciklerinin çoğu altın yaprağının içinden sapmadan ya da çok az sapma yaparak geçebilirdi. Rutherford atomdaki artı yüklerin tümünün, atomun içinde *yoğun ve merkezi* bir **çekirdekte** odaklandığını önerdi. Buna göre saçılma deneylerinde, herhangi bir α -taneciği, bir atomun çekirdeğine yaklaştığında büyük bir itici kuvvetle karşı karşıya kalıyor ve büyük bir sapma yapıyordu. Ayrıca, doğrudan doğruya bir çekirdeğe doğru hareket eden bir α -taneciği hareket yönünü tam tersine çevirecek kadar büyük bir itici güce maruz kalacaktı.

Çekirdekteki bu artı yüklü taneciklere proton adı verilir. Yapılan başka deneylerde ise, bir protonun yükünün *büyüklik* olarak bir elektronun yüküne eşit olduğu ve protonun kütle-sinin de $1,67262 \times 10^{-24}$ g, yani elektron kütle-sinin 1840 katı kadar olduğu bulunmuştur.

Araştırmaların bu safhasında, bilim adamları atomu şu şekilde algılıyorlardı: Çekirdeğin kütlesi atomun kütle-sinin çoğunu içerir, ancak çekirdeğin kapladığı hacim atomun hacminin sadece $1/10^{15}$ ü kadardır. Günümüzde atom (ve molekül) büyüklükleri *pikometre (pm)* adı verilen SI birimi cinsinden ifade edilir ve

$$1 \text{ pm} = 1 \times 10^{-12} \text{ m'dır.}$$

Angstrom (Å; 1 Å = 100 pm) SI birimi olmayan ancak yaygın olarak kullanılan bir atom uzunluk birimidir.

¹Ernest Rutherford (1871- 1937) Yeni Zelandalı fizikçi. Rutherford çalışmalarının çoğunu İngilterede yapmıştır (Manchester ve Cambridge üniversiteleri). 1908'de atom çekirdeğinin yapısına ilişkin araştırmaları için Kimya Nobel Ödülünü almıştır. Öğrencilerine söylediği "bilimin tamamı ya fiziktir ya da pul koleksiyonculuğudur" sözüne sıkça atıf yapılır.

²Johannes Hans Wilhelm Geiger (1882- 1945). Alman fizikçi. Geiger'in çalışmaları atom çekirdeğinin yapısı ve radyoaktivite üzerine odaklanmıştır. Günümüzde Geiger sayacı olarak anılan ve radyasyon ölçmeye yarayan aygıtı bulmuştur.

³Ernest Marsden (1889- 1970) İngiliz fizikçi. Bazen bir lisans öğrencisinin Nobel Ödülü almaya yardım edebileceğini bilmek onur vericidir. Marsden Yeni Zelandada bilimin gelişmesine önemli katkıda bulunmuştur.

Tipik bir atomun yarıçapı 100 pm kadardır. Oysa, bir atom çekirdeğinin yarıçapı sadece 5×10^{-3} pm dolayındadır. Bir atomla o atoma ait çekirdeğin göreceli olarak boyutlarını anlamak için şöyle düşünebilirsiniz: Atom bir stadyum büyüklüğünde olsaydı atomun çekirdeği küçük bir taş parçası kadar olurdu. Protonlar atomun çekirdeğine dolmuş durumda olmalarına karşın, elektronların çekirdekten belli bir uzaklıkta, çekirdeğin etrafında yayılmış durumda oldukları düşünülür.

Atom yarıçapı kavramı deneysel açıdan yararlı bir kavramdır, ancak atomların iyi tanımlanabilen sınırları veya yüzeyleri olduğunu düşünmemeliyiz. Daha ileride göreceğimiz gibi atomların dış bölgeleri oldukça “bulanık” veya “belirsiz” dir.

Nötron

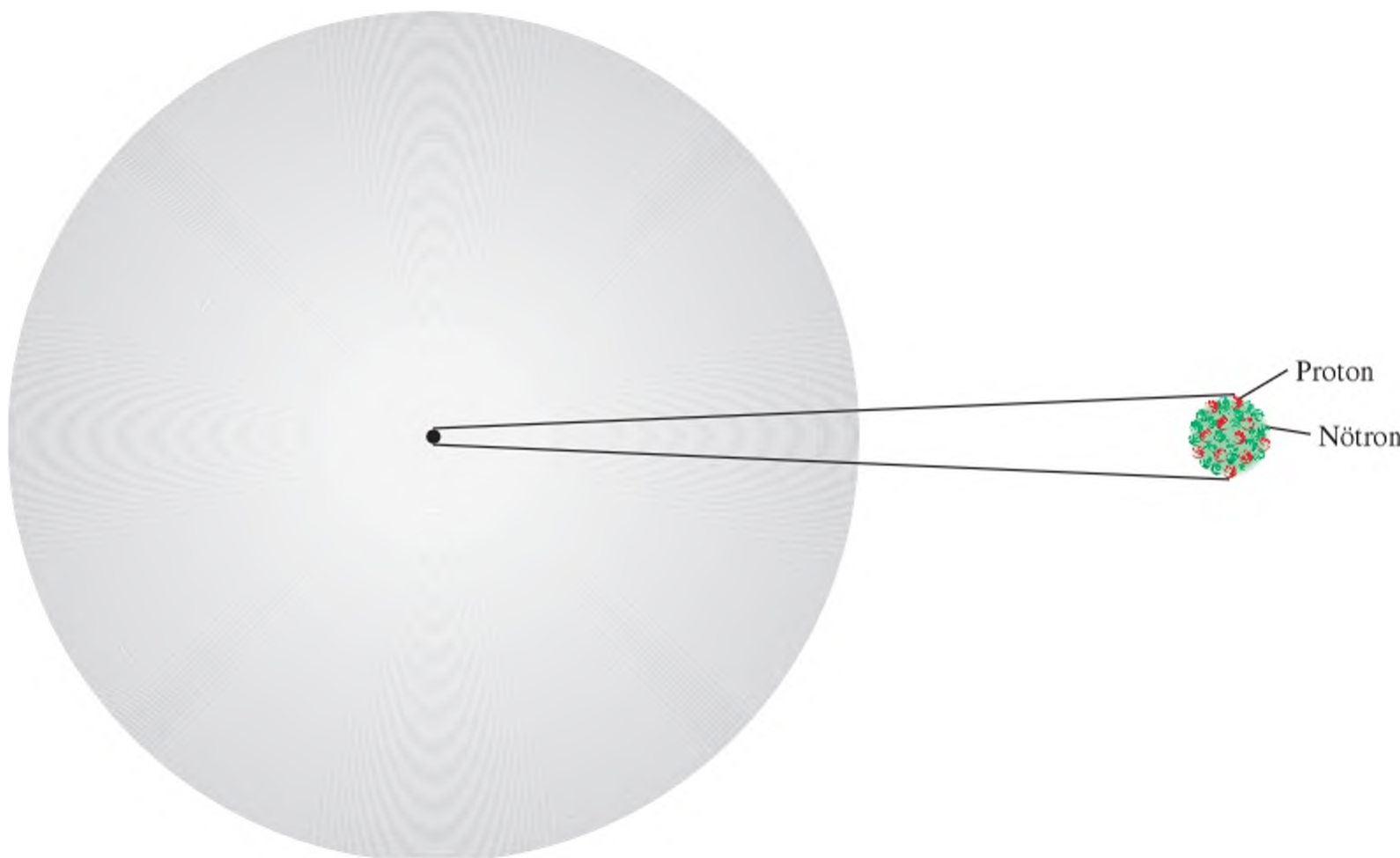
Rutherford’un atom yapısı modeli önemli bir problemi çözünmüştür bırakıyordu. Rutherford’un zamanında, en basit atom olan hidrojenin bir tane protonu, helyum atomunun ise iki tane protonu olduğu bilinmiyordu. Bu nedenle, helyum atomunun kütle-sinin hidrojen atomunun kütle-sine oranı 2:1 olmalıydı (elektronlar protonlardan çok daha hafif olduklarından, elektronların atomun kütle-sine olan katkısı ihmal edilebilir). Oysa gerçekte bu oran 4:1 idi. Buna göre, Rutherford ve diğer araştırmacılar atom çekirdeğinde diğer bir atom altı tanecik bulunması gerektiğini düşündüler. Bunun ispatı da 1932’de İngiliz fizikçi James Chadwick* tarafından yapıldı. Chadwick ince bir berilyum levhasını α - tanecikleri ile bombardıman ettiğinde, berilyum metali γ -ışınlarına benzeyen çok yüksek enerjili ışınlar yayımladı. Daha sonraki deneyler, bu ışınların *protonun kütle-sinden biraz daha büyük bir kütleyle sahip, elektrik yükü taşımayan nötr taneciklerden* oluştuğunu gösterdi. Chadwick bu taneciklere **nötron** adını verdi. Kütle oranlarındaki gizem artık açıklanabiliyordu. Helyumun çekirdeğinde iki tane proton ve iki tane nötron vardı. Fakat, hidrojenin çekirdeğinde sadece bir proton vardı ve hiç nötron yoktu. Bu nedenle oran 4:1’dir.

Şekil 2.9 atomdaki temel taneciklerin (protonlar, nötronlar ve elektronlar) konumlarını göstermektedir. Başka atom altı tanecikler de vardır. Ancak atomun kimyada



Atom bir stadyum kadar büyük olsaydı, çekirdek küçük bir taş kadar olurdu.

*James Chadwick (1891 - 1972) İngiliz fizikçi. 1935’de nötronların varlığını ispat ederek Nobel Fizik Ödülü aldı.



Şekil 2.9 Atomun protonları ve nötronları çok küçük bir çekirdeğe dolmuşlardır. Elektronlar çekirdeğin etrafında bulutlar şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Atomaltı Taneciklerinin Kütlesi ve Yüğü

Tanecik	Kütle (g)	Yük	
		Coulomb	Yük Birimi
Elektron*	$9,10938 \times 10^{-28}$	-1.6022×10^{-19}	-1
Proton	$1,67262 \times 10^{-24}$	$+1.6022 \times 10^{-19}$	+1
Nötron	$1,67493 \times 10^{-24}$	0	0

*Yapılan daha detaylı deneyler, elektronun kütlesini Millikan'dan daha doğru olarak vermektedir.

önemli olan üç temel bileşeni elektron, proton ve nötrondur. Çizelge 2.1 bu üç temel taneciğin yük ve kütlelerini göstermektedir.

2.3 Atom Numarası, Kütle Numarası ve İzotoplar

Atomlar içerdikleri proton ve nötron sayıları ile tanımlanabilirler. Bir elementin atomlarının çekirdeklerinde bulunan protonların sayısına **atom numarası (Z)** denir. Nötr bir atomda protonların sayısı elektronların sayısına eşittir. Bu nedenle, atom numarası aynı zamanda atomda bulunan elektron sayısını da gösterir. Bir atomun kimyasal kimliği sadece atom numarası ile belirlenebilir. Örneğin, florun atom numarası 9'dur, bu da bir flor atomunun 9 tane proton ve 9 tane elektronu olduğu anlamına gelir. Başka bir deyişle, evrende 9 tane proton içeren atomların hepsinin adı "flor"dur.

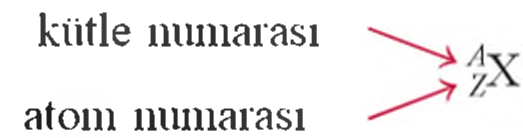
Kütle numarası (A) bir elementin atomlarının çekirdeklerinde bulunan proton ve nötronların sayısının toplamıdır. Bir proton içeren, nötronu bulunmayan ve en yaygın olarak rastlanan hidrojenin dışında, tüm atomların çekirdeklerinde hem protonlar hem de nötronlar vardır. Genel olarak kütle numarası aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Proton ve nötronlara topluca **nükleonlar** denir.

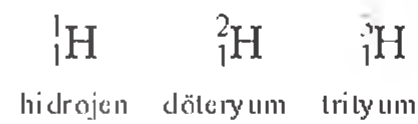
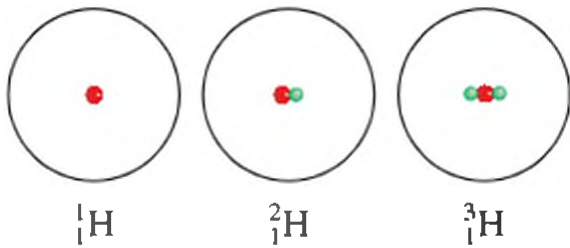
$$\begin{aligned} \text{kütle numarası} &= \text{proton sayısı} + \text{nötron sayısı} \\ &= \text{atom numarası} + \text{nötron sayısı} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Bir atomda bulunan nötronların sayısı, kütle numarası ile atom numarasının farkına eşittir ($A - Z$). Örneğin belli bir bor atomunun kütle numarası 12 ve atom numarası 5 ise (çekirdekte 5 tane proton vardır), buna göre nötron sayısı $12 - 5 = 7$ 'dir. Bu değerlerin (atom numarası, nötron sayısı ve kütle numarası) pozitif ve tam sayılı olduğuna dikkat ediniz.

Çoğu zaman belli bir elementin atomlarının tümü aynı kütleye sahip değildir. Atom numaraları aynı, ancak kütle numaraları farklı olan atomlara **izotop** adı verilir ve çoğu elementin iki veya daha çok sayıda izotopu vardır. Örneğin, hidrojenin üç izotopu vardır. Hidrojen olarak bilinen birinci izotopun bir tane protonu vardır ve nötronu yoktur. Döteryum izotopunun bir tane protonu ve bir tane nötronu, trityumun ise bir tane protonu ve iki tane nötronu vardır. Bir X elementinin atomunun atom numarası ve kütle numarası aşağıdaki gibi gösterilir.



Böylece, hidrojenin izotopları şöyle gösterilir.



Kütle numaraları 235 ve 238 olan uranyumun yaygın olan iki izotopu diğer bir örnektir.



Birinci izotop atom bombaları ve nükleer reaktörlerde kullanılır. Halbuki ikinci izotop bu uygulamalar için gereken özellikleri içermez. Hidrojen dışında, elementlerin farklı izotopları kütle numaraları ile tanımlanır. Hidrojen izotoplarının ise farklı adları vardır. Buna göre yukarıdaki uranyum izotopları, uranyum-235 (uranyum iki yüz otuz beş) ve uranyum-238 (uranyum iki yüz otuz sekiz) olarak adlandırılır.

Bir elementin kimyasal özelliklerini atomlarındaki protonlar ve elektronlar belirler. Normal koşullarda nötronlar kimyasal değişimlerde rol oynamazlar. Bu nedenle, bir elementin izotoplarının kimyasal özellikleri aynıdır, yani kimyasal etkinlikleri ve oluşturdukları bileşik türleri aynıdır.

Örnek 2.1’de atom numaraları ve kütle numaraları kullanılarak proton, nötron ve elektron sayılarının hesaplanması gösterilmiştir.

Örnek 2.1

Aşağıdakilerin her biri için proton nötron ve elektron sayılarını bulunuz.

(a) ${}^{20}_{11}\text{Na}$ (b) ${}^{22}_{11}\text{Na}$ (c) ${}^{17}_8\text{O}$ (d) karbon – 14.

İzlenecek Yol Üst indisin kütle numarasını (A), alt indisin de atom numarasını (Z) gösterdiğini hatırlayınız. Kütle numarası daima atom numarasından büyüktür. (Buna tek istisna kütle numarasının atom numarasına eşit olduğu ${}^1_1\text{H}$ dir). (c) ve (d) şıklarında olduğu gibi alt indisin gösterilmediği durumlarda, atom numarası elementin adından ya da simgesinden bulunur. Atomlar nötr olduğundan, elektron sayılarını bulmak için, elektron sayısının proton sayısına eşit olduğunu hatırlayınız.

Çözüm (a) Atom numarası 11’dir, bu nedenle 11 proton vardır. Kütle numarası 20’dir, buna göre nötron sayısı = $20 - 11 = 9$ ’dur. Elektron sayısı proton sayısına eşittir ve 11’dir.

(b) Atom numarası (a) daki ile aynıdır ve 11’dir. Kütle numarası 22’dir. Buna göre nötron sayısı = $22 - 11 = 11$ ’dir. Elektron sayısı 11’dir. (a) ve (b) deki türlerin sodyumun kimyasal açıdan birbirine benzeyen izotopları olduğuna dikkat ediniz.

(c) Oksijen’in (O) atom numarası 8’dir, buna göre 8 proton vardır. Kütle numarası 17’dir, buna göre $17 - 8 = 9$ nötron vardır.

(d) Karbon – 14, ${}^{14}_6\text{C}$ olarak da gösterilebilir. Karbonun atom numarası 6’dır, buna göre $14 - 6 = 8$ nötronu vardır. Elektron sayısı 6’dır.

Alıştırma Bakırın ${}^{63}_{29}\text{Cu}$, izotopunda kaç tane proton, elektron ve nötron vardır?

Benzer problemler: 2.15, 2.16.

Kavramların Değerlendirilmesi

- İzotoplarının bir tanesinde 117 nötron bulunan ve kütle numarası 195 olan elementin atom numarası nedir?
- Aşağıdaki simgelerden hangisi daha çok bilgi verir? ${}^{17}_8\text{O}$ ya da ${}^{17}\text{O}$.

2.4 Periyodik Çizelge

Günümüzde bilinen elementlerin yarısından çoğu 1800 ile 1900 yılları arasında bulunmuşlardır. O yıllarda kimyacılar çok sayıda elementin bir çok benzer özellikleri olduğunu görmüşlerdi. Elementlerin fiziksel ve kimyasal davranışlarındaki periyodik benzerliklerin anlaşılmasıyla yapı ve özellikleri ile ilgili çok miktarda bilginin sınıflandırılması gerektiği ortaya konmuş ve buda **periyodik çizelgenin** oluşturulmasına yol açmıştır. **Periyodik çizelge benzer kimyasal ve fiziksel özellikleri olan elementlerin birlikte gruplandırıldıkları bir çizelgedir.** Şekil 2.10'da modern periyodik çizelge görülmektedir. Burada elementler atom numaralarına göre yatay **periyotlarda**, kimyasal özelliklerindeki benzerliklere göre ise dikey **gruplarda** sıralanmışlardır (atom numaraları element simgesinin üzerinde gösterilmiştir). Atom numarası 113- 118 olan elementlerin son yıllarda sentezlenmiş olduklarına ve henüz adlandırılmadıklarına dikkat ediniz.

Elementler üç sınıfa ayrılabilir – metaller, ametaller ve yarı metaller (metalsimsiler). **Metaller**, ısı ve elektriği iyi ileten elementlerdir. **Ametaller**, genellikle ısı ve elektriği iletmezler. **Yarı metaller** ise metallerle ametaller arası özelliklere sahiptirler. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, elementlerin çoğu metaldır. Sadece 17 element ametaldır ve 8 element ise yarı metal sınıfındandır. Bir periyotta soldan sağa gidildikçe elementlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri metalden ametale doğru yavaş yavaş değişir.

1 1A																	18 8A
1 H	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113	114	115	116	117	118

Metaller	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Yarı metaller	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
Ametaller														

Şekil 2.10 Modern periyodik çizelge. Elementler, simgeleri üzerinde verilen atom numaralarına göre dizilmişlerdir. Hidrojen (H) dışında, ametaller çizelgenin en sağında bulunurlar. Çizelgenin aşırı geniş olmaması için, alt kısımda iki sıra halinde bazı metaller ana çizelgeden ayrı olarak dizilmişlerdir. Aslında seryum'un (Ce) lantan'ı, toryum'un (Th) ise aktinyum'u (Ac) izlemesi gerekirdi. 1-18 grup gösterimi IUPAC tarafından önerilmiş olmasına rağmen yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu kitapta grup numaraları standart US gösterimi (1A-8A) ve (1B-8B) kullanılmıştır. Atom numarası 113-118 arasında olan elementler henüz isimlendirilmemiştir.

Elementlerin Dünyada ve Canlı Sistemlerde Dağılımı

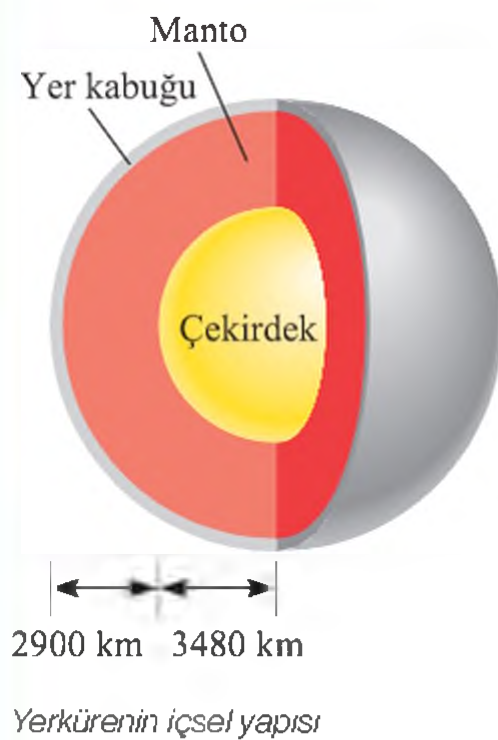
Elementlerin çoğu doğal olarak bulunurlar. Bu elementler dünyada nasıl dağılmışlardır ve hangileri canlı sistemler için gereklidir?

Yer kürenin kabuğu yüzeyden yaklaşık 40 km (24 mil kadar) derinliğe uzanır. Teknik zorluklar nedeniyle bilim adamları yer kürenin iç kısımlarını kabuğu kadar kolay araştıramamışlardır. Yine de dünyanın merkezinde büyük oranda demirden oluşan katı halde bir çekirdek olduğuna inanılmaktadır. Çekirdeğin etrafında demir, karbon, silisyum ve kükürtten oluşan ve *manto* adı verilen sıcak bir akışkan tabaka bulunmaktadır.

Doğada bulunan 83 elementten 12 tanesi yer kabuğunun kütleye % 99,7'sini oluşturur. Bunlar doğadaki bolluk oranlarındaki azalma sırasına göre: oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), demir (Fe), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na), potasyum (K), titan (Ti), hidrojen (H), fosfor (P)

ve mangan (Mn)'dır. Elementlerin doğadaki bolluk oranlarını tartışırken, (1) elementlerin yer kabuğunda eşit olarak dağılmadıkları ve (2) çoğu elementin bileşikler halinde bulunduğu unutulmamalıdır. Daha ilerideki bölümlerde görüleceği gibi, saf elementlerin bileşiklerinden elde edilmelerinde kullanılan bir çok yöntem vardır.

Aşağıdaki çizelgede insan vücudundaki gerekli elementlerin listesi verilmiştir. Bunlar arasında özellikle ilginç olanları vücut kütesinin yaklaşık yüzde 0,1'ini oluşturan demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), iyot (I), ve kobalt (Co) gibi *eser elementlerdir*. Bu elementler büyüme gibi biyolojik işlevler, metabolizma için oksijen taşınımı ve hastalıklara karşı savunma için gereklidir. Vücudumuzda bu elementlerin miktarına ilişkin hassas bir denge vardır. Bu elementlerin uzun bir süre devam eden fazlalığı ya da eksikliği ciddi hastalıklara, zeka geriliğine, hatta ölüme bile yol açabilir.

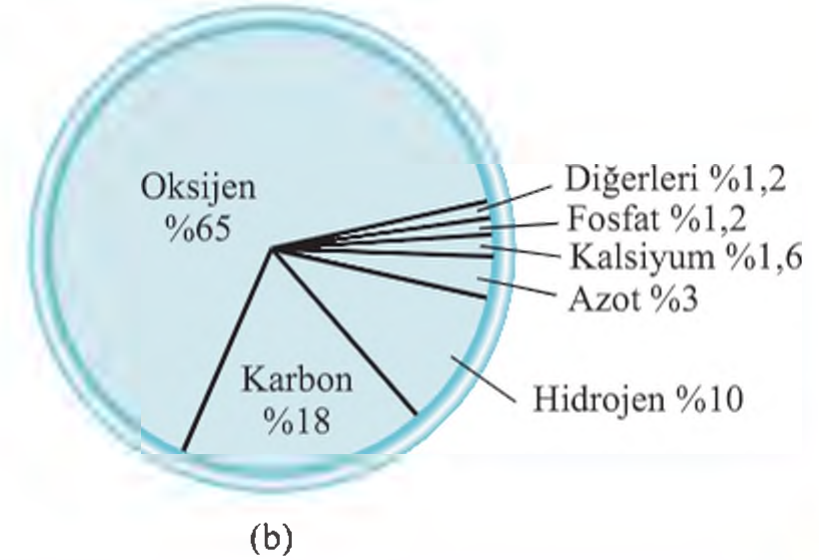
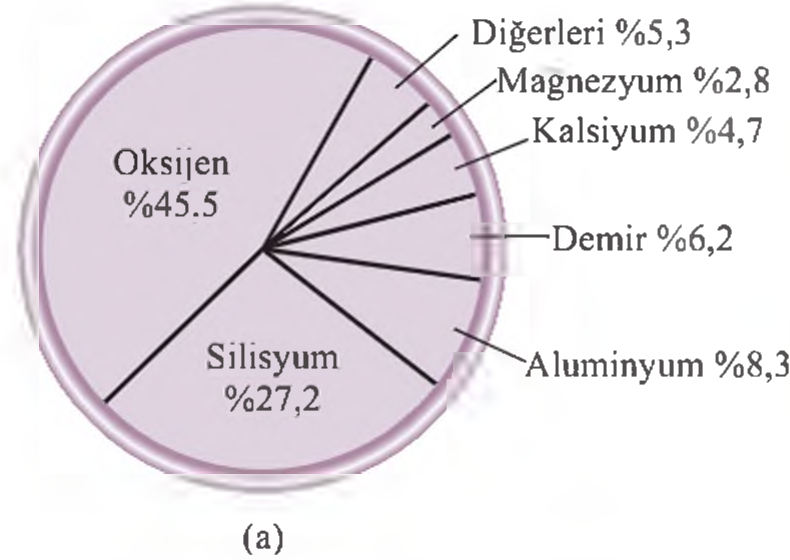


İnsan Vücudunda Gerekli Elementler

Element	Kütle Yüzdesi*	Element	Kütle Yüzdesi*
Oksijen	65	Sodyum	0,1
Karbon	18	Mağnezyum	0,05
Hidrojen	10	Demir	<0,05
Azot	3	Kobalt	<0,05
Kalsiyum	1,6	Bakır	<0,05
Fosfor	1,2	Çinko	<0,05
Potasyum	0,2	İyot	<0,05
Kükürt	0,2	Selenyum	<0,01
Klor	0,2	Flor	<0,01

*Kütle yüzdesi 100 g örnekteki elementin gram cinsinden değeridir.

(a) Elementlerin doğada kütleye yüzde bulunma miktarları. Örneğin, oksijenin bolluğu yüzde 45,5'tir. Yani, yer kabuğundan alınan 100 g örneğin ortalama 45,5 gramı oksijen elementidir. (b) İnsan vücudunda bulunan elementlerin kütleye yüzde bollukları.



lır veya kazanılabilir. Nötür bir atomdan bir ya da daha çok sayıda elektronun kaybedilmesi sonucunda *pozitif yüklü bir iyon*, yani **katyon** oluşur. Örneğin, sodyum atomu kolaylıkla bir tane elektron kaybedip sodyum katyonuna, Na^+ , döndürür.

Bölüm 8'de farklı elementlerin atomlarının neden belli sayıda elektron kazandıklarını ya da kaybettiklerini göreceğiz.

Na Atomu	Na^+ İyonu
11 proton	11 proton
11 elektron	10 elektron

Diğer taraftan, **anyon**, elektron sayısındaki artış nedeniyle, *yükü negatif olan bir iyon*dur. Örneğin, klor atomu bir elektron alarak, klorür iyonuna döndürür. Cl^- :

Cl Atomu	Cl^- İyonu
17 proton	17 proton
17 elektron	18 elektron

Sofra tuzu olarak bilinen sodyum klorüre (NaCl) **iyonik bileşik** denir. Çünkü **katyon** ve **anyonlardan oluşmuştur**.

Atomlar birden fazla elektron kaybedebilir veya kazanabilir. Birden fazla elektronun kaybedilmesi veya kazanılması ile oluşan iyonlara örnekler, Mg^{2+} , Fe^{3+} , S^{2-} , N^{3-} , Na^+ ve Cl^- dir. Bu iyonlara **tek atomlu iyonlar** denir. Çünkü bunlarda *sadece bir atom vardır*. Şekil 2.11' de bazı tek atomlu iyonlar ve yükleri görülmektedir. Bir kaç istisna dışında metaller katyonları, ametaller ise anyonları oluştururlar.

Ayrıca, iki veya daha çok sayıda atom birleşerek, pozitif ya da negatif yüklü bir iyon oluşturabilir. OH^- (hidroksit iyonu), CN^- (siyanür iyonu) ve NH_4^+ (amonyum iyonu) gibi **poliatomik iyonlar** ya da çok atomlu iyonlar, *birden çok atom içeren iyonlardır*.

Kavramların Değerlendirilmesi

- S_8 neyi ifade eder? S_8 'den farkı nedir?
- Aşağıdaki iyonların proton ve elektron sayısını bulunuz.
 - P^{3-} ve (b) Ti^{4+} .

1 1A	2 2A																	18 8A
Li^+																		
Na^+	Mg^{2+}	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B							
K^+	Ca^{2+}				Cr^{2+} Cr^{3+}	Mn^{2+} Mn^{3+}	Fe^{2+} Fe^{3+}	Co^{2+} Co^{3+}	Ni^{2+} Ni^{3+}	Cu^+ Cu^{2+}	Zn^{2+}					Se^{2-}	Br^-	
Rb^+	Sr^{2+}									Ag^+	Cd^{2+}		Sn^{2+} Sn^{4+}			Te^{2-}	I^-	
Cs^+	Ba^{2+}									Au^+ Au^{3+}	Hg_2^{2+} Hg^{2+}		Pb^{2+} Pb^{4+}					

Şekil 2.11 Çok bilinen tek atomlu iyonlar ve periyodik çizelgedeki yerleri. Hg_2^{2+} iyonunun iki tane atom içerdiğine dikkat ediniz.

2.6 Kimyasal Formüller

Kimyacılar *moleküllerin ve iyonik bileşiklerin bileşimini kimyasal simgelerle ifade etmek için kimyasal formüller* kullanırlar. Bileşimden kastımız, bileşikteki element ve atomların birleşme oranlarıdır. Burada başlıca iki tür formülle ilgileneceğiz: Molekül formülü ve kaba formül.






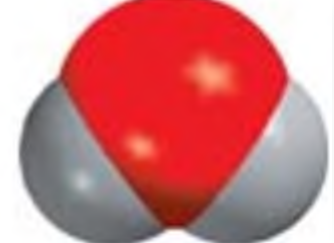


Molekül Formülü

Molekül formülü bir maddenin en küçük biriminde bulunan elementlerin atom sayısını tam olarak gösteren formüldür. Molekül konusu incelenirken verilen örneklerde molekül formülleri parantez içinde verilmişti. Buna göre, hidrojenin molekül formülü H_2 , oksijenin O_2 , ozonun O_3 , ve suyun ise H_2O 'dur. Bu formüllerde alt indis herhangi bir elementin atom sayısını gösterir. H_2O 'da O'nun alt indisi yoktur, çünkü bir su molekülünde yalnızca bir tane oksijen atomu bulunur ve formüllerde "bir" rakamı gösterilmez. Oksijen (O_2) ve ozonun (O_3), oksijen elementinin allotropları olduğuna dikkat ediniz. **Allotrop**, bir elementin iki veya daha çok sayıdaki farklı biçimlerine verilen isimdir. Karbon elementinin allotropları olan elmas ve grafit, gerek özellikleri gerekse maliyetleri bakımından birbirinden çok farklıdır.

Molekül Modelleri

Moleküller doğrudan doğruya gözle algılanamayacak kadar küçüktür. Molekülleri gözümüzün önünde canlandırabilmenin etkin bir yolu, molekül modelleri kullanmaktır. Günümüzde iki tip standart molekül modeli kullanılmaktadır: *Top-çubuk modeli* ve *uzay-dolgu modeli* (Şekil 2.12). Top ve çubuk modellerinde atomlar, üzerlerinde delikler bulunan tahta ya da plastik toplarla gösterilir. Bu modellerde kimyasal bağları göstermek için çubuklar veya yaylar kullanılır. Çubukların atomlar arasında oluşturduğu açılar, yaklaşık olarak gerçek moleküldeki bağ açılarını gösterir. H atomu dışında toplar aynı büyüklüktedir ve her elementin atomu farklı bir renkle gösteril-

Atomların renk kodları için kitabın en son sayfasına bakınız.

	Hidrojen	Su	Amonyak	Metan
Molekül formülü	H_2	H_2O	NH_3	CH_4
Yapı formülü	$H-H$	$H-O-H$	$\begin{array}{c} H-N-H \\ \\ H \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-H \\ \\ H \end{array}$
Top ve çubuk modeli				
Uzay-dolgu modeli				

Şekil 2.12 Çok bilinen dört molekülün molekül formülleri, yapı formülleri ve molekül modelleri.

miştir. Uzay—dolgu modellerinde ise atomlar kesilmiş toplar biçiminde olup, toplar birbirlerine geçmeli olarak bağlanmışlardır. Bu nedenle, bu modellerde bağlar görünmez. Topların boyutları atom boyutları ile orantılıdır. Molekül modeli oluşturmak için önce *molekülde atomların birbirine nasıl bağlandığını gösteren yapısal formül (yapı formülü)* çizilir. Örneğin, su molekülünde H atomlarının her ikisinin de O atomuna bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle suyun yapı formülü H—O—H dır. Atom simgelerini birleştiren çizgiler kimyasal bağları temsil etmektedir.

Top ve çubuk modellerinin yapılması oldukça kolay olup, bunlar atomların üç boyutlu dizilişini açıkça gösterir. Ancak bu modellerde topların boyutu atom boyutları ile orantılı değildir. Çubuklar molekülde atomların arasındaki uzaklığı abartılı olarak gösterir. Uzay-dolgu modelleri atom boyutlarındaki farklılıkları da gösterdiğinden daha gerçekçidir. Ancak bunların yapılması uzun sürer ve uzayda atomların yerlerini çok iyi göstermezler. Bu kitapta her iki model sıkça kullanılacaktır.

Kaba Formüller (Empirik Formüller)

Antiseptik özelliği olan, saç bakımı ve tekstil’de ağartıcı olarak kullanılan hidrojen peroksit molekül formülü H_2O_2 dir. Bu formül hidrojen peroksit molekülünün iki tane hidrojen ve iki tane oksijen içerdiğini gösterir. Bu molekülde hidrojen atomlarının oksijen atomlarına oranı 2:2 veya basitçe 1:1 olup hidrojen peroksit kaba formülü HO ’dur. Buna göre, *kaba formül bir molekülde hangi elementlerin bulunduğunu ve bu elementlerin atomlarının en basit tam sayılı oranını gösterir*, ancak moleküldeki atomların gerçek sayısını göstermeyebilir. Başka bir örnek olarak, roket yakıtı olarak kullanılan hidrazine (N_2H_4) bakalım. Hidrazin kaba formülü NH_2 ’dir. Azotun hidrojene oranı gerek molekül formülünde (N_2H_4) gerekse kaba formülde (NH_2) 1:2 olduğu halde, bir hidrazin molekülünde bulunan N ve H atomlarının gerçek sayısını (iki ve dört) sadece molekül formülünü gösterir.

Kaba ya da empirik formüller *en basit* kimyasal formüllerdir. Bunlar molekül formülündeki alt indislerin mümkün olan en küçük tam sayıya dönüştürülmesi ile elde edilir. Molekül formülleri ise moleküllerin *gerçek* formülleridir. Bir bileşiğin molekül formülünü biliyorsak kaba formülünü de biliriz, ancak bunun tersi geçerli değildir. O zaman kimyacılar niçin kaba formüllerle ilgilenir? Bölüm 3’te görüleceği gibi, kimyacılar bilinmeyen bir bileşiği analiz ettiklerinde, önce bileşiğin kaba formülünü saptarlar ve sonra ek bilgilerin yardımıyla molekül formülünü çıkarmak mümkün olur.

Bir çok molekül için molekül formülü ve kaba formül aynıdır. Su (H_2O), amonyak (NH_3), karbon dioksit (CO_2) ve metan (CH_4) buna örneklerdir.

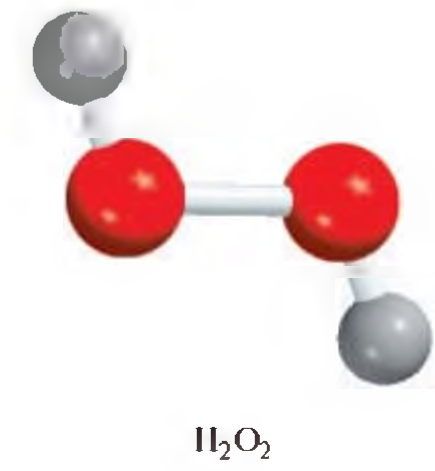
Örnek 2.2 ve 2.3, molekül modellerinden molekül formüllerinin ve molekül formüllerinden kaba formüllerin yazılabilmesi ile ilgilidir.

Örnek 2.2

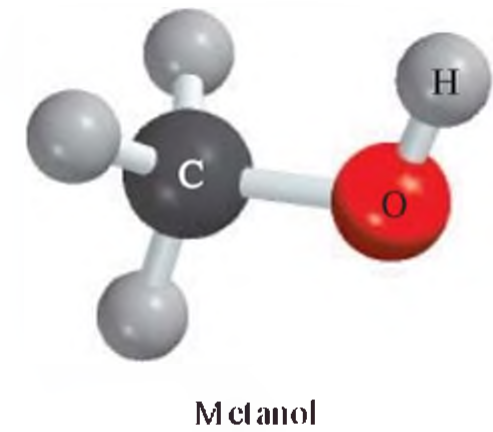
Yan tarafta gösterilen top- çubuk modeline bakarak, organik bir çözücü ve antifriz olarak kullanılan metanolün molekül formülünü yazınız.

Çözüm Kitabın en arka sayfasındaki renklerden atomları belirleyiniz. Molekülde dört tane H, bir tane C ve bir tane O atomu bulunmaktadır. Bu nedenle molekül formülü CH_4O ’dur. Ancak metanolün molekül formülü CH_3OH şeklinde yazılır, çünkü bu formül molekülde atomların birbirine nasıl bağlandıklarını da gösterir.

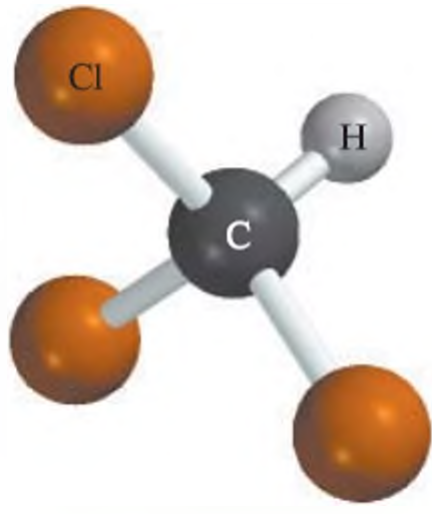
Alıştırma Çözücü ve temizlik maddesi olarak kullanılan kloroformun molekül formülünü yazınız. Kloroformun top- çubuk modeli sayfa 54’te, yanda gösterilmiştir.



“Empirik” sözcüğü “deneyden türetilmiş” anlamına gelir. Bölüm 3’te göreceğimiz gibi empirik (kaba) formüller deneysel olarak bulunur.



Benzer problemler: 2.47, 2.48.



Kloroform

Örnek 2.3

Aşağıdaki moleküllerin kaba formüllerini yazınız: (a) Kaynak yapımında kullanılan asetilen (C_2H_2); (b) kan şekeri olarak bilinen glukoz ($C_6H_{12}O_6$); ve (c) anestezide kullanılan, “güldürücü gaz” olarak bilinen ve sprey kutularında da itici güç sağlayan diazot monoksit (N_2O).

İzlenecek Yol Kaba formülü yazmak için, molekül formülündeki alt indislerin mümkün olan en küçük tam sayılara dönüştürülmesi gerektiğini hatırlayınız.

Çözüm

- (a) Asetilende iki tane karbon, iki tane hidrojen atomu vardır. Alt indisleri 2'ye bölerek, kaba formülü CH olarak buluruz.
- (b) Glukozda 6 tane karbon, 12 tane hidrojen ve 6 tane oksijen atomu vardır. Alt indisleri 6'ya bölerek CH_2O kaba formülünü elde ederiz. Alt indisleri 3'e bölseydik $C_2H_4O_2$ formülünü bulurduk. Gerçi, $C_2H_4O_2$ formülünde karbon atomlarının hidrojen ve oksijen atomlarına oranı (1:2:1) olup bu atomların $C_6H_{12}O_6$ formülündeki oranıyla aynıdır, ancak, $C_2H_4O_2$ formülünde alt indisler mümkün olan en küçük tam sayılar olmadığından, bu formül en basit formül değildir.
- (c) N_2O 'da alt indisler zaten mümkün olan en küçük tam sayılar olduğundan, diazot oksit'in kaba formülü ile molekül formülü aynıdır.

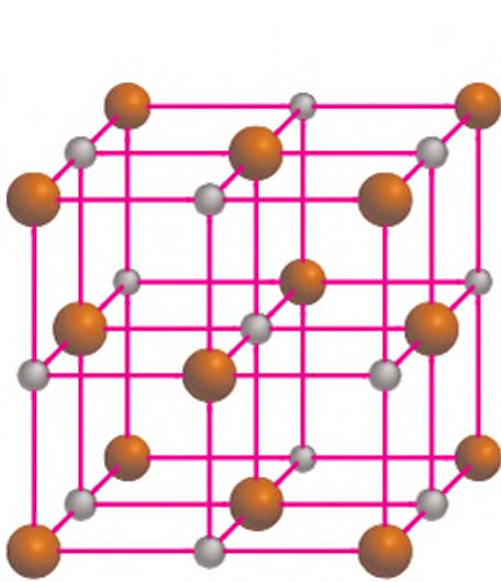
Alıştırma Kahve ve çayda bulunan ve bir uyarıcı madde olan kafeinin ($C_8H_{10}N_4O_2$) kaba formülünü yazınız.



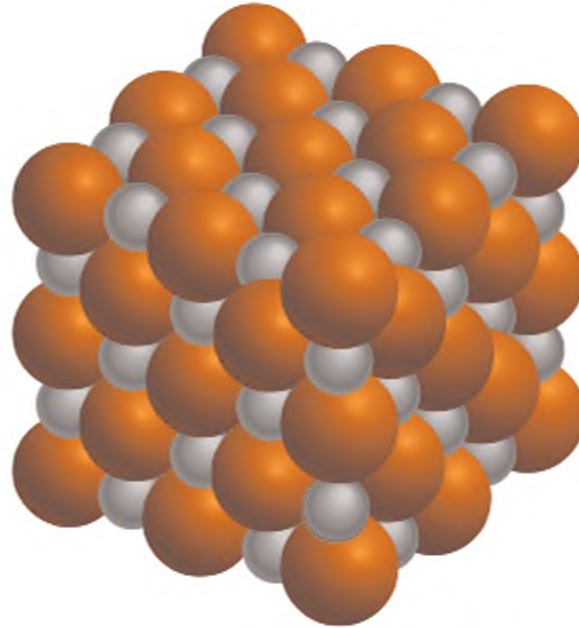
Sodyum klorür oluşturmak üzere sodyum metalinin klor gazı ile tepkimesi.

İyonik Bileşiklerin Formülleri

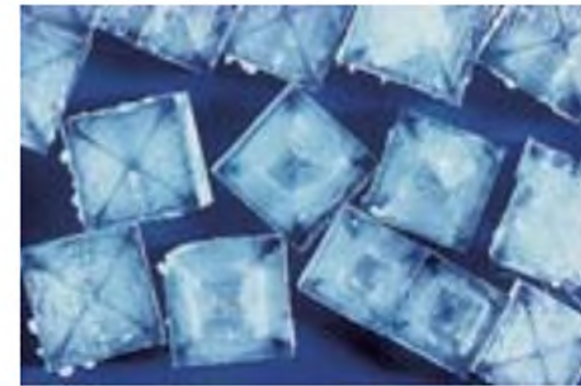
İyonik bileşiklerin formülleri çoğu zaman kaba formülleri ile aynıdır. Çünkü, iyonik bileşikler bağımsız molekül birimlerinden oluşmazlar. Örneğin, katı sodyum klorür üç boyutlu ağ örgü yapıda dizilmiş eşit sayıda Na^+ ve Cl^- iyonlarından oluşur (Şekil 2.13). Böyle bir bileşikte katyonların anyonlara oranı 1:1 olup bileşik elektriksiz açıdan yüksüzdür. Şekil 2.13'de görebileceğiniz gibi $NaCl$ 'deki Na^+ iyonlarından hiçbirisi sadece belli bir Cl^- iyonuna bağlı değildir. Aslında Na^+ iyonlarının her birinin etrafında altı tane Cl^- iyonu vardır. Ayrıca bunun tersi de geçerlidir. Yani her Cl^- iyonu altı tane Na^+ iyonu ile sarılmıştır. Bu nedenle, $NaCl$, sodyum klorürün kaba formülüdür. Başka iyonik bileşiklerde gerçek yapı farklı olabilir. Ancak bileşikte katyon ve anyonlar elektriksiz açıdan nötr olacak biçimde dizilirler. Katyon ve anyon yüklerinin iyonik bileşimin formülünde gösterilmediğine dikkat ediniz.



(a)



(b)



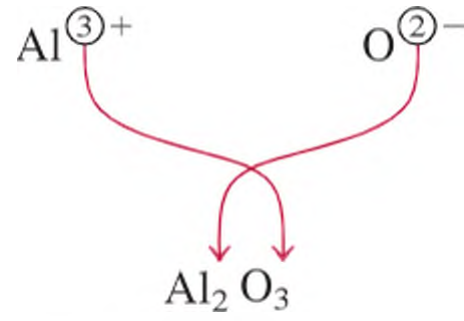
(c)

Şekil 2.13 (a) Katı $NaCl$ 'ün yapısı. (b) Gerçekte katyonlar anyonlarla temas halindedir. (a) ve (b)'de daha küçük olan küreler Na^+ iyonlarını, büyük küreler ise Cl^- iyonlarını temsil etmektedir. (c) $NaCl$ kristalleri.

İyonik bileşiklerin elektriksel açıdan nötr olabilmeleri için birim formüldeki anyon ve katyon yüklerinin toplamı sıfır olmalıdır. Katyon ve anyonun yükleri farklı ise formülün nötr olması için şu kural uygulanır: *Katyonun alt indisi sayısal açıdan anyonun yüküne, anyonun alt indisi ise katyonun yüküne eşittir*. Katyon ve anyon yükleri birbirine eşit ise alt indislere gerek yoktur. İyonik bileşiklerin çoğunun formülü kaba formül olduğundan, bu kural alt indis oranlarının daima en küçük tam sayılara indirgenmesine dayanmaktadır. Şimdi bazı örneklerle bakalım.

Anyon ve katyon yükleri için Şekil 2.11'e bakınız.

- **Potasyum Bromür.** Potasyum iyonu, K^+ , ile bromür iyonu, Br^- , iyonik bir bileşik olan potasyum bromürü oluşturmak üzere birleşirler. İyon yüklerinin toplamı $+1 + (-1) = 0$ olduğundan alt indislere gerek yoktur ve formül KBr 'dir.
- **Çinko İyodür.** Çinko iyonu, Zn^{2+} , ile iyodür iyonu, I^- , çinko iyodür oluşturmak üzere birleşirler. Bir tane Zn^{2+} iyonu ile bir tane I^- iyonunun yüklerinin toplamı $+2 + (-1) = +1$ dir. Yüklerin toplamını sıfıra eşitlemek için anyonun -1 yükünü 2 ile çarpıp, iyodun simgesine "2" alt indisini koyarız. Bu nedenle, çinko iyodürün formülü ZnI_2 'dir.
- **Aluminyum Oksit.** Katyon Al^{3+} , oksijen anyonu ise O^{2-} dir. Aşağıdaki gösterim bu katyon ve anyondan oluşan bileşiğin alt indislerini bulmanıza yardımcı olur:



Yüklerin toplamı $2(+3) + 3(-2) = 0$ 'dır. Bu nedenle aluminyum oksitin formülü Al_2O_3 'tür.

Her üç örnekte de alt indislerin en küçük oranlarda olduğuna dikkat ediniz.

Örnek 2.4

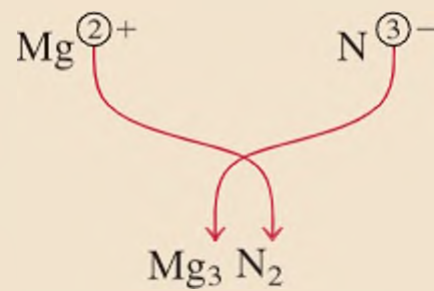
Mg^{2+} ve N^{3-} iyonlarını içermekte olan, magnezyum nitrit'in formülünü yazınız.

İzlenecek Yol Elektrik olarak nötrlük, yani katyonların toplam yükünün anyonların toplam yüküne eşit olma zorunluluğu, iyonik bileşiklerin formüllerini yazmada bize yol göstericidir. Mg^{2+} ve N^{3-} üzerindeki yükler birbirine eşit olmadığından, formülün MgN olamayacağını biliyoruz. Bunun yerine, formülü Mg_xN_y olarak yazarız. Burada x ve y alt indisleri belirlenmesi gereken katsayılardır.

Çözüm Elektrikçe nötrlüğü sağlamak için, aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır:

$$(+2)x + (-3)y = 0$$

Yukarıdaki eşitliği çözdüğümüzde $x/y = 3/2$ elde ederiz. Buradan $x = 3$ ve $y = 2$ elde edilir ve formülü aşağıdaki gibi yazabiliriz.



Kontrol Altindisler en küçük tamsayıli atom oranına indirgenmiştir, çünkü bir iyonik bileşiğin kimyasal formülü genellikle onun kaba formülüdür.

Alıştırma Aşağıdaki iyonik bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) kromsülfat (Cr^{3+} ve SO_4^{2-} iyonlarını içerir) ve (b) titanyum oksit (Ti^{4+} ve O^{2-} iyonlarını içerir).



Magnezyum havada yandığında hem magnezyum oksit hem de magnezyum nitrit oluşur.

Benzer problemler: 2.43, 2.44.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda verilen her bir gösterimi, şu iyonik bileşiklerle eşleştiriniz: Al_2O_3 , LiH , Na_2S , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. (Yeşil küreler katyonları kırmızı küreler anyonları gösterir.)



2.7 Bileşiklerin Adlandırılması

Kimya henüz genç bir bilim iken ve bilinen bileşiklerin sayısı az iken bileşiklerin adlarını ezberlemek mümkündü. Bu adların çoğu bileşiklerin fiziksel görünümü, özellikleri, kaynakları, ya da uygulamalarından elde edilmişti. Örneğin magnezyum sütü, güldürücü gaz, kireç taşı, kostik soda, soda, yıkama sodası, içme sodası gibi.

Günümüzde bilinen bileşiklerin sayısı 66 milyonu geçmiştir. Neyseki bunların adlarını ezberlemek gerekmemektedir. Yıllar geçtikçe kimyacılar, kimyasal maddeleri adlandırmak için açık seçik bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemin kuralları dünya çapında kabul edilmiş, böylece hem kimyacılar arasında bilgi alışverişi kolaylaşmış, hem de çok sayıda farklı maddenin adlandırılması için yararlı bir yöntem oluşturulmuştur. Bu kurallara hemen şimdi hakımı olmamız, bundan sonraki kimya derslerimizde çok yararlı olacaktır.

Kimyasal *adlandırma* ya da kimyasal bileşiklerin adlandırılmasına başlarken, önce inorganik bileşikleri organik bileşiklerden ayırmalıyız. **Organik bileşikler** karbon içerirler ve karbon çoğu zaman hidrojen, oksijen, azot, ve kükürt elementleri ile bileşik halinde bulunur. Geriye kalan diğer bütün bileşikler **inorganik bileşikler** olarak sınıflandırılır. Ancak, karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), karbon disülfür (CS_2) gibi karbon içeren bileşikler ve siyanür (CN^-), karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) grupları içeren bileşikler inorganik olarak düşünülür. Kesim 2.8’de organik bileşiklere kısaca giriş yapılacaktır.

Adlandırmayı düzenlemek ve basitleştirmek amacı ile inorganik bileşikleri dört sınıfa ayırabiliriz: iyonik bileşikler, moleküler bileşikler, asitler ve bazlar ve hidratlar.

İyonik Bileşikler

Kesim 2.5’te iyonik bileşiklerin katyonlar (artı yüklü iyonlar) ve anyonlardan (eksi yüklü iyonlar) oluştuğunu öğrenmiştik. Önemli bir iyon olan amonyum iyonu (NH_4^+), dışında, incelediğimiz tüm katyonlar metal atomlarından kaynaklanır. Metal katyonları da adlarını elementlerinden alırlar. Örneğin,

Element	Katyon Adı
Na sodyum	Na^+ sodyum iyonu (sodyum katyonu)
K potasyum	K^+ potasyum iyonu (potasyum katyonu)
Mg magnezyum	Mg^{2+} magnezyum iyonu (magnezyum katyonu)
Al alüminyum	Al^{3+} alüminyum iyonu (alüminyum katyonu)

İyonik bileşiklerin çoğu yalnızca *iki elementten oluşan ikili bileşiklerdir*. İkili iyonik bileşiklerde, önce metal katyonunun adı söylenir, sonra da ametal anyonun adı verilir. Buna göre NaCl ’nin adı sodyum klorürdür. Anyonun adı, element adına (klor)

Elementlerin adları ve simgeleri için ön sayfalara bakınız.

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
Li							
Na	Mg						
K	Ca						
Rb	Sr						
Cs	Ba						

En reaktif metaller (yeşil) ile en reaktif ametaller (mavi) iyonik bileşikler oluştururlar.

Animasyon
Bir iyonik bileşiğin oluşumu

Çizelge 2.2 Çok Rastlanan Bazı Tek Atomlu Anyonların “ür” Adlandırması ve Periyodik Çizelgedeki Yerleri

4A Grubu	5A Grubu	6A Grubu	6A Grubu
C karbür (C^{4-})*	N nitrür (N^{3-})	O oksit (O^{2-})	F florür (F^{-})
Si silisür (Si^{4-})	P fosfür (P^{3-})	S sülfür (S^{2-})	Cl klorür (Cl^{-})
		Se selenür (Se^{2-})	Br bromür (Br^{-})
		Te telürür (Te^{2-})	I iyodür (I^{-})

*Karbür adı aynı zamanda C_2^{2-} anyonu için de kullanılır.

“tır” son eki eklenerek oluşturulur. Potasyum bromür (KBr), çinko iyodür (ZnI_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) de ikili bileşiklerdir. Çizelge 2.2’de çok bilinen bazı tek atomlu anyonların adları ve periyodik çizelgedeki yerleri gösterilmiştir.

“Ür” son eki farklı elementler içeren anyonlar için de kullanılır. Örneğin siyanür (CN⁻) gibi. Buna göre KCN, potasyum siyanür olarak adlandırılır. KCN gibi *iç elementten oluşan bileşiklere üçlü bileşikler* denir. Çizelge 2.3’te çok bilinen bazı katyon ve anyonların adları verilmiştir.

Bazı metaller, özellikle geçiş metalleri birden çok kation oluşturabilirler. Örneğin demir iki tane kation oluşturur: Fe^{2+} ve Fe^{3+} . Az da olsa hala kullanılan daha eski bir adlandırma yönteminde ise, düşük artı yük içeren kation “öz”, yüksek artı yük içeren kation ise “ik” son eki takılarak adlandırılır:

Fe^{2-}	ferröz iyonu
Fe^{3-}	ferrik iyonu

Bu iyonların klorla oluşturdukları bileşiklerin adları da aşağıdaki gibi olur:

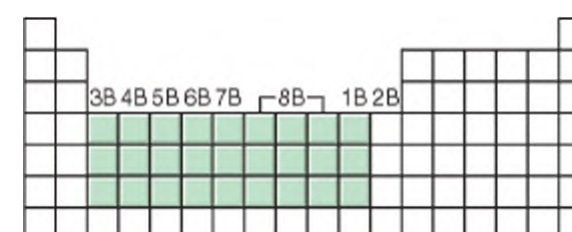
FeCl_2	feröz klorür
FeCl_3	ferik klorür

İyonları bu şekilde adlandırmanın bazı eksiklikleri vardır. Öncelikle, “öz” ve “ik” son ekleri söz konusu katyonların gerçek yükü ile ilgili bilgi vermez. Örneğin, ferrik iyonu Fe^{3+} dir, ancak bakırın kuprik olarak adlandırılan katyonu Cu^{2+} dır. Ayrıca, “öz” ve “ik” adlandırması sadece bir elementin iki farklı katyonu için kullanılabilir. Halbuki bazı metal elementler bileşiklerinde üç veya daha çok artı yük alabilir. Bu nedenle farklı katyonları Romen rakamları ile göstermek gittikçe yaygınlaşmıştır. Buna *Stock sistemi* denir. Bu sistemde, artı bir yük için Romen rakamı I, artı iki yük için II kullanılır. Örneğin, mangan (Mn) atomlarının çeşitli artı yükleri bulunabilir:

Mn^{2+} : MnO	mangan(II) oksit
Mn^{3+} : Mn_2O_3	mangan(III) oksit
Mn^{4+} : MnO_2	mangan(IV) oksit

Bu bileşiklerin adları mangan-iki oksit, mangan-üç oksit ve mangan-dört oksit olarak okunur. Stok sistemine göre ferröz ve ferrik iyonları sırasıyla demir(II) ve demir(III) olarak adlandırılır; ferröz klorür demir- iki klorür, ferrik klorür ise demir-üç klorür olur.

¹Alfred E. Stock (1876 – 1946) Alman kimyacı. Stock çoğu araştırmasını bor, berilyum ve silisyum bileşiklerinin sentezi ve tanımlanması konularında yaptı. Cıva zehirlenmesinin zararlarını ilk inceleyen bilim insanıdır.



Geçiş metalleri 1B ve 3B- 8B Grubunda bulunan elementlerdir (bak Şekil 2.10).



Solda FeCl_2 , sağda FeCl_3 görülmektedir.

Roman rakamlarının metal katyonları üzerindeki yükü gösterdiğini unutmayın

Çizelge 2.3 Çok Rastlanan Bazı İnorganik Katyon ve Anyonlar

Katyon	Anyon
Alüminyum (Al^{3+})	Bromür (Br^-)
Amonyum (NH_4^+)	Karbonat (CO_3^{2-})
Baryum (Ba^{2+})	Klorat (ClO_3^-)
Kadmiyum (Cd^{2+})	Klorür (Cl^-)
Kalsiyum (Ca^{2+})	Kromat (CrO_4^{2-})
Sezyum (Cs^+)	Siyanür (CN^-)
Krom(III) ya da kromik (Cr^{3+})	Dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)
Kobalt(II) ya da kobaltöz (Co^{2+})	Dihidrojen fosfat (H_2PO_4^-)
Bakır(I) ya da kupröz (Cu^+)	Florür (F^-)
Bakır(II) ya da kuprik (Cu^{2+})	Hidrit (H^-)
Hidrojen (H^+)	Hidrojen karbonat ya da bikarbonat (HCO_3^-)
Demir(II) ya da ferröz (Fe^{2+})	Hidrojen fosfat (HPO_4^{2-})
Demir(III) ya da ferik (Fe^{3+})	Hidrojen sülfat ya da bisülfat (HSO_4^-)
Kurşun(II) ya da plumböz (Pb^{2+})	Hidroksit (OH^-)
Lityum (Li^+)	İyodür (I^-)
Magnezyum (Mg^{2+})	Nitrat (NO_3^-)
Mangan(II) ya da manganöz (Mn^{2+})	Nitrür (N^{3-})
Cıva(I) ya da merküröz (Hg_2^{2+})*	Nitrit (NO_2^-)
Cıva(II) ya da merkürik (Hg^{2+})	Oksit (O^{2-})
Potasyum (K^+)	Permanganat (MnO_4^-)
Gümüş (Ag^+)	Peroksit (O_2^{2-})
Sodyum (Na^+)	Fosfat (PO_4^{3-})
Stronsiyum (Sr^{2+})	Sülfat (SO_4^{2-})
Kalay(II) ya da stanöz (Sn^{2+})	Sülfür (S^{2-})
Çinko (Zn^{2+})	Sülfid (S^{2-})
	Tiyosiyanat (SCN^-)

*Cıva(I) iyon çifti olarak bulunur.

Kalay (Sn) ve kurşun (Pb) gibi geçiş metali olmayan metaller de birden çok katyon oluşturabilir.

Modern kullanıma uygun olarak bu kitapta bileşikler adlandırılmada. Stok sistemi tercih edilecektir.

Örnek 2.5 ve 2.6'da, Şekil 2.11 ve Çizelge 2.2 ve 2.3'te verilen bilgilere göre, iyonik bileşiklerin adlandırılması ve formüllerinin yazılması gösterilmiştir.

Örnek 2.5

Aşağıdaki bileşikler adlandırınız: (a) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, (b) KH_2PO_4 , (c) NH_4ClO_3 .

İzlenecek Yol (a) ve (b)'deki bileşiklerin hem metal hem de ametal atomları içerdiğine dikkat ediniz; bu nedenle bu bileşiklerin iyonik olmasını bekleriz. (c)'de metal atomu yoktur ancak artı yük taşıyan amonyum grubu vardır. Anyon ve katyonların adlarına

(Devamı)

Çizelge 2.3'ten bakarız. Bir metal, farklı yükleri olan katyonlar oluşturabiliyorsa (Şekil 2.11'a bakınız.) Stock sistemini kullanmak gerektiğini unutmayınız.

Çözüm

- (a) Nitrat iyonunun (NO_3^-) eksi bir yükü vardır. demek ki bakır artı iki yüklüdür. Bakır hem Cu^+ hemde Cu^{2+} iyonlarını oluşturduğundan Stock sistemini kullanıp bileşiği bakır(II) nitrat olarak adlandırırız.
- (b) Katyon K^+ , anyon ise H_2PO_4^- (dihidrojen fosfat)tır. Potasyum sadece K^+ iyonu oluşturabildiğinden, bileşik adlandırılırken potasyum (I) demeye gerek yoktur ve bileşiğin adı potasyum dihidrojen fosfattır.
- (c) Katyon NH_4^+ (amonyum) iyonudur, anyon ise ClO_3^- dir. Bileşik amonyum klorattır.

Alıştırma Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) V_2O_5 ve (b) Li_2SO_3 .

Benzer problem: 2.57(b), (e), (f).

Örnek 2.6

Aşağıdaki bileşiklerin kimyasal formüllerini yazınız: (a) cıva (I) nitrit, (b) sezyum sülfür ve (c) kalsiyum fosfat.

İzlenecek Yol Anyon ve katyonların formüllerini Çizelge 2.3'ten buluruz. Stock sisteminde Romen rakamlarının katyon yükü hakkında bilgi verdiğini hatırlayınız.

Çözüm

- (a) Romen rakamı cıva iyonunun +1 yüklü olduğunu göstermektedir. Ancak Çizelge 2.3'te cıva(I) iyonunun iki atomlu (yani Hg_2^+) olduğu görülmektedir, nitrit iyonu da NO_2^- dir. Buna göre formül $\text{Hg}_2(\text{NO}_2)_2$ 'dir.
- (b) Sülfür iyonu eksi iki yüklü, sezyum ise artı bir yüklüdür (sezyum aynı sodyum gibi 1A Grubundadır). Bu nedenle formül Cs_2S 'dir.
- (c) Kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) artı iki yüklü, fosfat iyonu (PO_4^{3-}) eksi üç yüklüdür. Yük toplamını sıfıra eşitlemek için katyon ve anyon sayılarını ayarlarız:

$$3(+2) + 2(-3) = 0$$

Buna göre formül $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dir.

Alıştırma Aşağıdaki iyonik bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) rubidyum sülfat ve (b) baryum hidrür.

Bu bileşikte alt indislerin en küçük sayılar olmadığına dikkat ediniz; bunun nedeni Hg(I) iyonunun iki atomlu (dimer) olmasıdır.

Benzer problem: 2.59(a), (b), (d), (h), (i).

Moleküler Bileşikler

İyonik bileşiklerden farklı olarak, moleküler bileşikler belirli ve bağımsız molekül birimleri içerirler. Moleküler bileşikler genellikle ametallerden oluşurlar (Şekil 2.10'a bakınız.). Moleküler bileşiklerin birçoğu ikili bileşiklerdir. İkili moleküler bileşiklerin adlandırılması ikili iyonik bileşiklerinkine benzer. Formüldeki ilk elementin adını söyleyip ikinci elementin adının köküne “ür” son eki koyarız. Bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

HCl	hidrojen klorür
HBr	hidrojen bromür
SiC	silisyum karbür

Çizelge 2.4**Moleküler Bileşiklerin
Adlandırılmasında Kullanılan
Yunanca Ön Ekler**

Ön Ek	Anlamı
Mono-	1
Di-	2
Tri-	3
Tetra-	4
Penta-	5
Hekza-	6
Hepta-	7
Okta-	8
Nona-	9
Deka-	10

Karbon ve hidrojen içeren ikili bileşikler organik bileşiklerdir, bunların adlandırma kuralları farklıdır ve Bölüm 24'te tartışılacaktır.

İki element birden çok sayıda bileşik oluşturabilir. Bu durumlarda, bileşiklerin adlandırılmasında ortaya çıkacak karmaşayı önlemek için, bileşikteki elementlerin atom sayısı Yunanca ön ekleri ile belirtilir (Çizelge 2.4'e bakınız). Aşağıdaki örnekleri inceleyelim:

CO	karbon monoksit
CO ₂	karbon dioksit
SO ₂	kükürt dioksit
SO ₃	kükürt trioksit
NO ₂	azot dioksit
N ₂ O ₄	diazot tetroksit

Adlandırmada ön ekler kullanılırken aşağıdaki kuralları uygulamak yararlı olacaktır:

- Birinci element için "mono" ön eki kullanılmaz. Örneğin, PCl₃ için monofosfor triklorür yerine fosfor triklorür denir. Yani, bileşikteki ilk elementte ön ek olmaması, genellikle molekülde bu elementin bir tane atomu bulunduğunu gösterir.
- Oksitler adlandırılırken bazen ön ektaki "a" atlanır. Örneğin N₂O₄ diazot tetroksit yerine diazot tetroksit olarak adlandırılır.

Hidrojen içeren moleküler bileşikler adlandırılırken, Yunanca ön ekler kullanılmaz. Geleneksel olarak bu bileşikler, yaygın olarak bilinen ve sistematik olmayan adları ile, ya da hidrojen atomu sayısının belirtilmediği adlarla anılırlar:

B ₂ H ₆	diboran
CH ₄	metan
SiH ₄	silan
NH ₃	amonyak
PH ₃	fosfin
H ₂ O	suy
H ₂ S	hidrojen sülfür

Bu formüllerdeki elementlerin yazılış sırası bile kurallı değildir. Yukarıdaki örneklerde görüldüğü gibi, su ve hidrojen sülfürde H ilk element olduğu halde diğer bileşiklerde son elementtir.

Moleküler bileşiklerin formüllerini yazmak ise oldukça basittir. Örneğin, arsenik triflorür adı molekülde bir tane As ve üç tane F atomu bulunduğunu belirtir ve molekül formülü AsF₃'tür. Formülde elementlerin sırası bileşiğin adındaki sıra ile aynıdır.

Örnek 2.7

Aşağıdaki moleküler bileşikleri adlandırınız: (a) SiCl₄ ve (b) P₄O₁₀.

İzlenecek Yol Ön ekleri Çizelge 2.4'ten buluruz. (a)'da sadece bir silisyum atomu vardır, bu nedenle "mono" ön ekini kullanmayız.

Çözüm (a) Dört tane klor atomu bulunduğundan bileşik silisyum tetraklorürdür.

(b) Dört tane fosfor ve on tane oksijen atomu vardır ve bileşik tetrafosfor dekoksittir. Deka ekinden "a" harfinin düşürüldüğüne dikkat ediniz.

Alıştırma Aşağıdaki moleküler bileşikleri adlandırınız: (a) NF₃ ve (b) Cl₂O₇.

Berzer problem: 2.57(c), (i), (j).

Örnek 2.8

Aşağıdaki moleküler bileşiklerin kimyasal formüllerini yazınız: (a) karbon disülfür ve (b) disilisyum hekzabromür.

İzlenecek Yol Ön ekleri atomların sayılarına çeviririz (Çizelge 2.4'e bakınız). (a)'da karbonun ön eki olmadığından bileşikte sadece bir karbon atomu vardır.

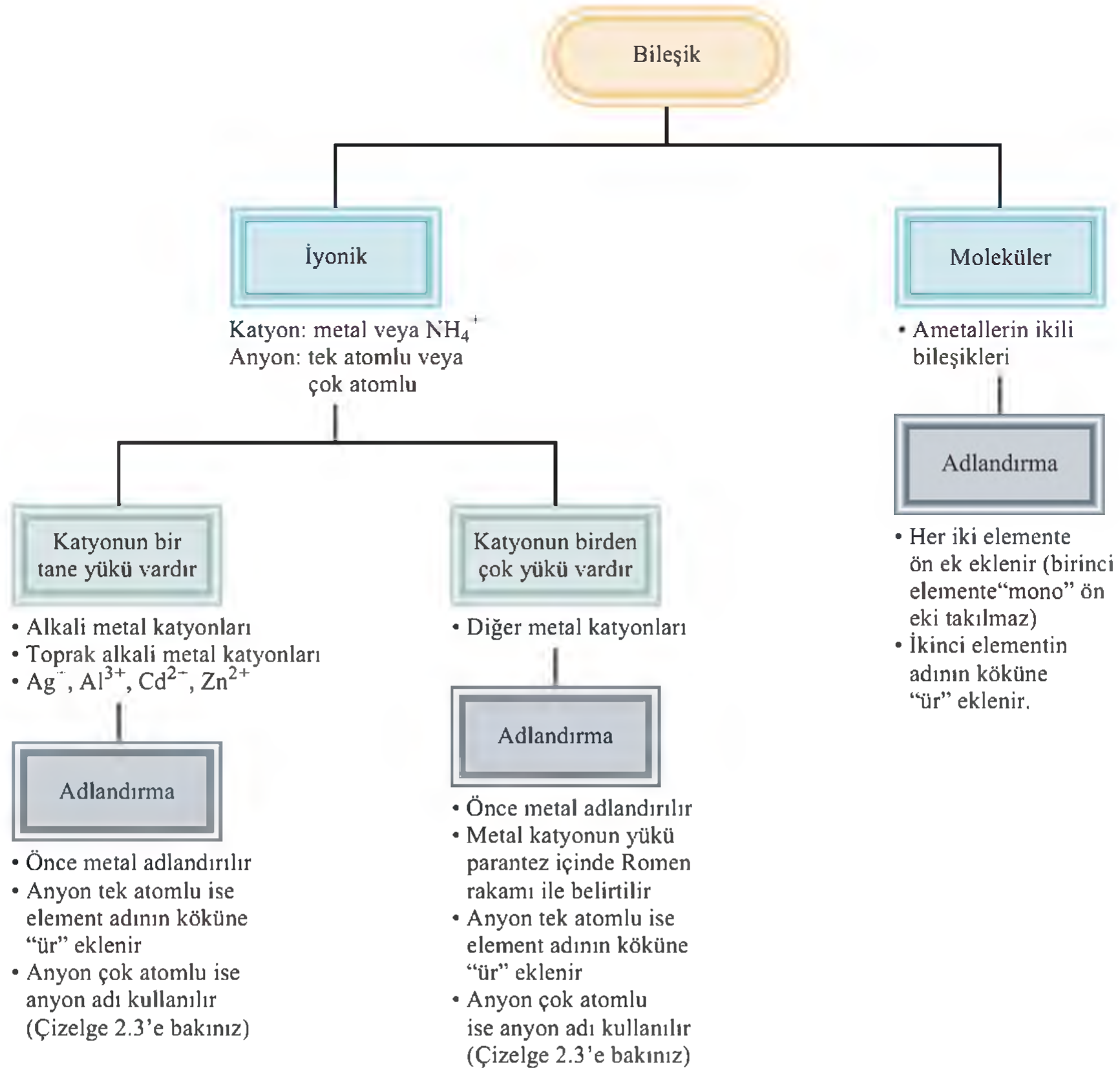
Çözüm (a) Bileşikte iki tane kükürt, bir tane karbon atomu bulunduğuundan formül CS_2 'dir.

(b) Bileşikte iki tane silisyum ve altı tane brom atomu vardır. Bu nedenle formül Si_2Br_6 dır.

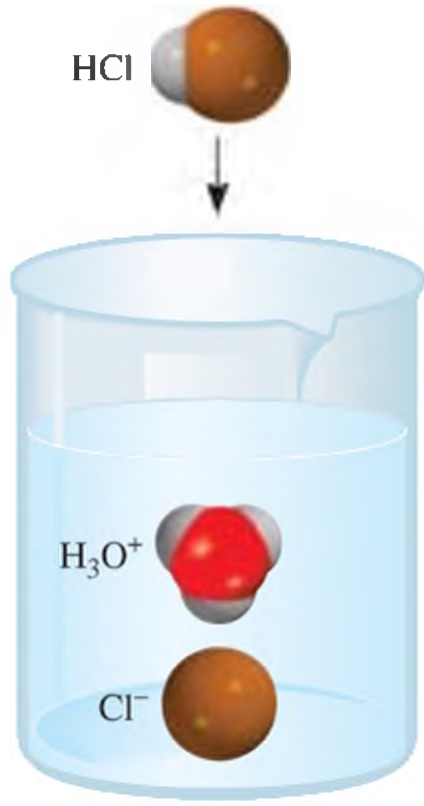
Alıştırma Aşağıdaki moleküler bileşiklerin kimyasal formüllerini yazınız: (a) kükürt tetraflorür ve (b) diazot pentoksit.

Berzer problem: 2.59(g), (j).

Şekil 2.14'te iyonik ve ikili moleküler bileşiklerin adlandırılması için izlenecek adımlar özetlenmiştir.



Şekil 2.14 İkili moleküler ve iyonik bileşiklerin adlandırılmasında izlenecek adımlar.



Suda çözündüğünde HCl molekülü H^+ ve Cl^- iyonlarına dönüşür. H^+ iyonu bir veya birkaç tane su molekülü ile birlikte bulunur ve çoğu zaman H_3O^+ olarak gösterilir.

Asitler ve Bazlar

Asitlerin Adlandırılması

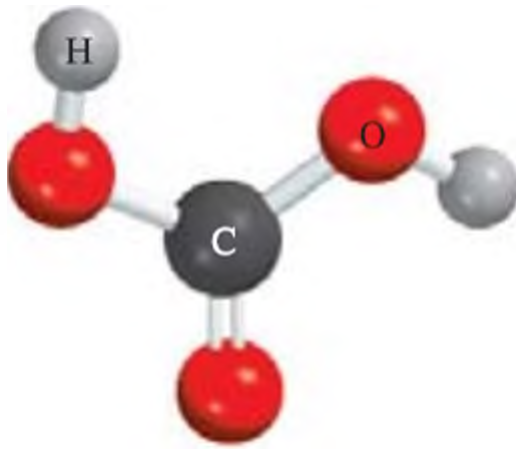
Asit suda çözündüğünde hidrojen iyonları (H^+) veren bir madde olarak tanımlanabilir. (H^+ bir protona eşdeğer olduğundan, proton olarak da adlandırılır.) Asitlerin formleri bir anyon ile bir ya da daha çok hidrojen içerir. Çizelge 2.5'te görüldüğü gibi, adları “tü” ile biten anyonların asitleri “hidro” ön eki ve “ik” son eki içerirler. Bazen aynı kimyasal formüle iki farklı ad verilebilir. Örneğin, HCl hem hidrojen klorür hem de hidroklorik asit olarak bilinir.

HCl	hidrojen klorür
HCl	hidroklorik asit

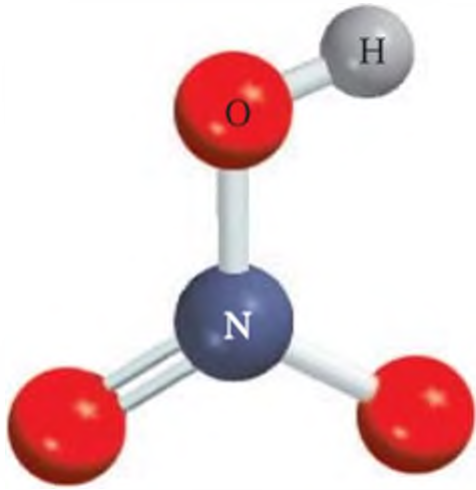
Aslında bu bileşik için kullanılan ad fiziksel haline bağlıdır. Gaz veya saf sıvı haldeki HCl moleküller bir bileşik olup hidrojen klorür olarak adlandırılır. Halbuki, HCl suda çözündüğünde H^+ ve Cl^- iyonlarına ayrışır ve bu koşullarda adı hidroklorik asittir.

Hidrojen, oksijen ve bir diğer element (merkez elementi) içeren asitlere oksiasitler denir. Aşağıda görüldüğü gibi, oksiasitlerin formlerini yazarken genellikle önce H, sonra merkez elementi ve en son da O yazılır. Burada oksiasitlerin adlandırılmasında aşağıdaki en çok bilinen 5 asiti temel aldık.

H_2CO_3	karbonik asit
$HClO_3$	klorik asit
HNO_3	nitrik asit
H_3PO_4	fosforik asit
H_2SO_4	sülfürik asit



H_2CO_3



HNO_3

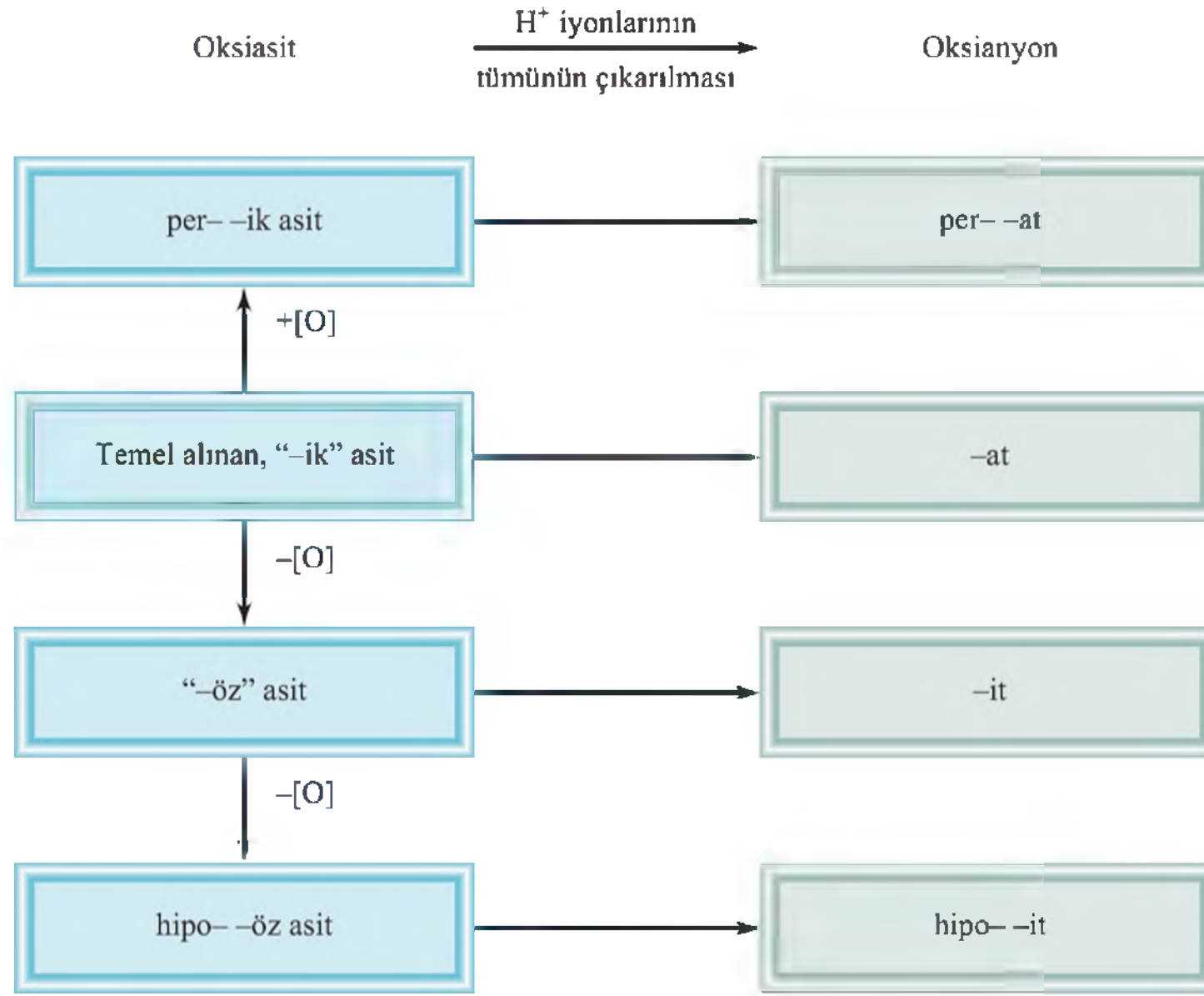
Bütün bu asitlerin gaz fazda moleküler bileşikler halinde bulunduğuna dikkat ediniz.

Çoğu zaman, iki veya daha çok sayıda oksiasitte aynı merkez atomu, ancak farklı sayıda O atomu bulunur. Adları “ik” ile biten oksiasitlerden başlayarak, bu tür bileşiklerin adlandırılması için aşağıdaki kurallar uygulanır:

1. “ik” asidine bir tane O atomunun eklenmesi: Bu durumda asit “per. . . ik” asit olarak adlandırılır. Örneğin, (HClO₃) asidine (“ik”) bir tane O atomu eklenmesi ile klorik asit (HClO₃) perklorik asite (HClO₄) dönüştür.
2. “ik” asidinden bir tane O atomunun çıkarılması: Bu durumda asit “öz” asiti olarak adlandırılır. Buna göre, nitrik asit, (HNO₃), nitroz asite (HNO₂) dönüştür.
3. “ik” asidinden iki tane O atomunun çıkarılması: Bu durumda asit “hipo. . . öz” asiti olarak adlandırılır. Buna göre, HBrO₃, HBrO'ya dönüştüğünde asit hipobromöz asit olarak adlandırılır.

Çizelge 2.5 Bazı Basit Yapılı Asitler

Karşılık Gelen Asiti	Anyon
HF (hidroflorik asit)	F^- (florür)
HCl (hidroklorik asit)	Cl^- (klorür)
HBr (hidrobromik asit)	Br^- (bromür)
HI (hidroyodik asit)	I^- (iyodür)
HCN (hidrosiyanik asit)	CN^- (siyanür)
H_2S (hidrosülfürik asit)	S^{2-} (sülfür)

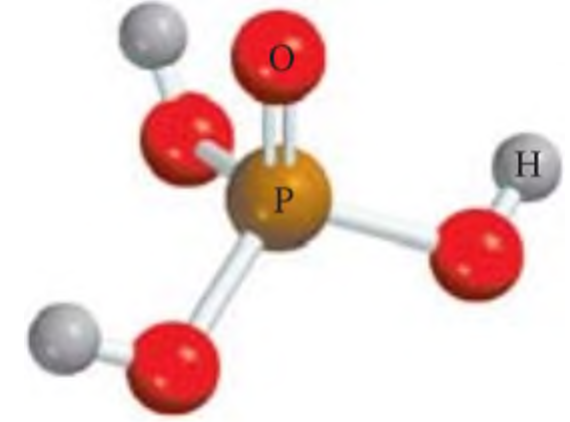


Şekil 2.15 Oksiasit ve oksianyonların adlandırılması.

Oksianyonlar adı verilen *oksiasit anyonları* aşağıdaki kurallara göre adlandırılır:

1. “ik” asidinden H iyonlarının hepsi çıkarıldığında, geriye kalan anyon adı “at” ile sonlandırılarak adlandırılır. Örneğin, H_2CO_3 ’ten kaynaklanan CO_3^{2-} karbonat olarak adlandırılır.
2. “öz” asidinden H iyonlarının hepsi çıkarıldığında, anyon adı “it” ile sonlanır. Bu nedenle HClO_2 ’nin anyonu ClO_2^- , klorit anyonudur.
3. Asitten bir ya da daha çok sayıda H iyonu çıkarıldığında oluşan anyon adı, anyonda kaç hidrojen olduğunu belirtilerek adlandırılır. Örneğin, fosforik asitten kaynaklanan anyonlar şunlardır:

H_3PO_4	fosforik asit
H_2PO_4^-	dihidrojen fosfat
HPO_4^{2-}	hidrojen fosfat
PO_4^{3-}	Fosfat



H_3PO_4

Anyonda sadece bir tane H bulunuyorsa “mono” ön ekinin genellikle kullanılmadığına dikkat ediniz. Çizelge 2.6’da klor içeren oksiasitlerin ve oksianyonların adları verilmiş, Şekil 2.15’de ise oksiasitlerin ve oksianyonların adlandırılma yöntemi özetlenmiştir.

Çizelge 2.6 Klor İçeren Oksiasitlerin ve Oksianyonların Adları

Asit	Anyon
HClO_4 (perklorik asit)	ClO_4^- (perklorat)
HClO_3 (klorik asit)	ClO_3^- (klorat)
HClO_2 (kloröz asit)	ClO_2^- (klorit)
HClO (hipokloröz asit)	ClO^- (hipoklorit)

Örnek 2.9'da bir oksiasit ile bir oksianyonun adlandırılması gösterilmiştir.

Örnek 2.9

Yanda verilen oksiasit ve oksianyonu adlandırınız: (a) H_3PO_3 ve (b) IO_4^- .

İzlenecek Yol (a)'daki asidi adlandırmak için Şekil 2.15'ten adı "ik" ile biten asidi buluruz. (b)'de ise anyonu Çizelge 2.6'da gösterilen asidine çeviririz.

Çözüm (a) Esas asidimiz olan fosforik asit (H_3PO_4) ile başlarız. H_3PO_3 'te bir O atomu eksik olduğundan adı fosforöz asittir.

(b) Ana asit HIO_4 'tür. Bu asitte O atomu sayısı referans asidimiz olan iyodik asitten (HIO_3) bir tane fazla olduğundan, asidin adı periyodik asittir. Buna göre, HIO_4 'ten kaynaklanan bu anyonun adı periyodattır.

Alıştırma Verilen şu oksiasit ve oksianyonu adlandırınız: (a) HBrO ve (b) HSO_4^- .

Berzer problem: 2.58(f).

Bazların Adlandırılması

Baz, suda çözündüğünde hidroksit iyonları (OH^-) veren bir madde olarak tanımlanabilir. Aşağıda bazı örnekler verilmiştir:

NaOH	sodyum hidroksit
KOH	potasyum hidroksit
Ba(OH)_2	baryum hidroksit

Gaz veya saf sıvı halde, moleküler bir bileşik olan amonyak da (NH_3), yaygın olarak karşılaşılan bir bazdır. Bu ilk bakışta, yapısında hidroksit olmadığından baz tanımına uygun görünmemektedir. Ancak, bir madde suda çözündüğünde *hidroksit iyonları oluşturuyorsa*, yapısında hidroksit iyonları içermese de baz olarak tanımlanır. Nitekim amonyak suda çözündüğünde, NH_3 su ile kısmen tepkimeye girip NH_4^+ ve OH^- iyonlarını oluşturur. Bu nedenle amonyakın baz olarak sınıflandırılması doğrudur.

Hidratlar

Hidratlar bileşimlerinde belli sayıda su molekülü bulunan bileşiklerdir. Örneğin, normal haldeki bakır(II) sülfatta, bakır(II) sülfat birimleri beş tane su molekülü içerir. Bu bileşiğin sistematik adı bakır(II) sülfat pentahidrat olup, formülü $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Bu bileşikteki su molekülleri bileşiğin ısıtılması ile uzaklaştırılabilir. Bileşik ısıtıldığında, bazen *susuz* bakır(II) sülfat adı verilen CuSO_4 elde edilir. "Susuz" terimi artık bileşik bünyesinde su molekülleri bulunmadığı anlamında kullanılır (Şekil 2.16). Diğer bazı hidratlar aşağıda gösterilmiştir:

$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	baryum klorür dihidrat
$\text{LiCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	lityum klorür monohidrat
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	magnezyum sülfat heptahidrat
$\text{Sr(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	stronsiyum nitrat tetrahidrat

Çok Tanınan İnorganik Bileşikler

Bazı bileşikler sistematik kimyasal adlarından çok yaygın adları ile tanınırlar. Bunların iyi bilinen örnekleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.16 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (solda) mavidir. CuSO_4 (sağda) beyazdır.

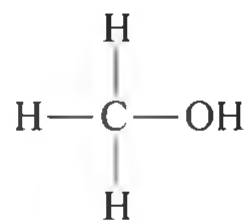
Çizelge 2.7 Bazı Bileşiklerin Yaygın ve Sistemik Adları

Formül	Yaygın Adı	Sistemik Adı
H_2O	Su	Dihidrojen monoksit
NH_3	Amonyak	Trihidrojen nitrit
CO_2	Kuru buz	Katı karbon dioksit
NaCl	Sofra tuzu	Sodyum klorür
N_2O	Güldürücü gaz	Dinitrojen monoksit
CaCO_3	Mermer, tebeşir, kireç taşı	Kalsiyum karbonat
CaO	Sönmemiş kireç	Kalsiyum oksit
Ca(OH)_2	Sönmüş kireç	Kalsiyum hidroksit
NaHCO_3	İçme sodası	Sodyum hidrojen karbonat
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Yıkama sodası	Sodyum karbonat dekahidrat
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Epsom tuzu	Magnezyum sülfat heptahidrat
Mg(OH)_2	Magnezyum sütü	Magnezyum hidroksit
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Alçı taşı	Kalsiyum sülfat dihidrat

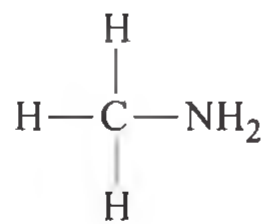
2.8 Organik Bileşiklere Giriş

En basit organik bileşik türü sadece karbon ve hidrojen atomları içeren *hidrokarbonlardır*. Hidrokarbonlar evsel ve endüstriyel amaçlı ısıtmada, elektrik üretiminde ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak, kimyasal endüstrilerde de ham madde olarak kullanılırlar. Hidrokarbonların bir sınıfı *alkanlar* olarak adlandırılır. Çizelge 2.8’de ilk on alkanın adları, formülleri ve molekül modelleri gösterilmiştir. Bunlar karbon zincirinde dallar bulunmayan *doğru zincirli* alkanlardır. Alkan adlarının *-an* ile sonlandırılmasına dikkat ediniz. C_5H_{12} ’den başlayarak bileşikteki karbon atomlarının sayısını belirtmek için. Çizelge 2.4’teki Yunanca ön ekleri kullanınız.

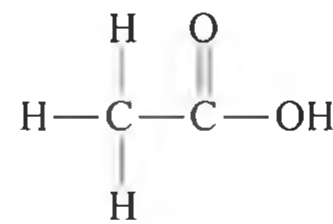
Organik bileşiklerin kimyası büyük oranda, molekülde belli biçimde bağlanmış bir veya birkaç atomun oluşturduğu *fonksiyonel gruplara* bağlıdır. Örneğin metan molekülündeki bir H atomu, bir hidroksil ($-\text{OH}$), bir amin ($-\text{NH}_2$), ya da bir karboksil ($-\text{COOH}$) grubu ile yer değiştirirse aşağıdaki moleküller oluşur.



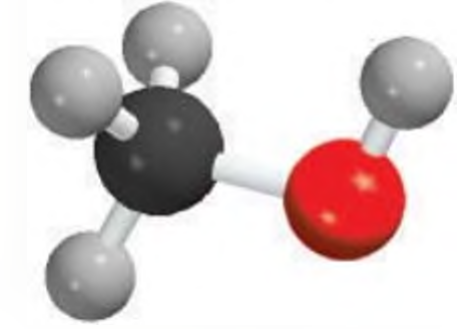
Metanol



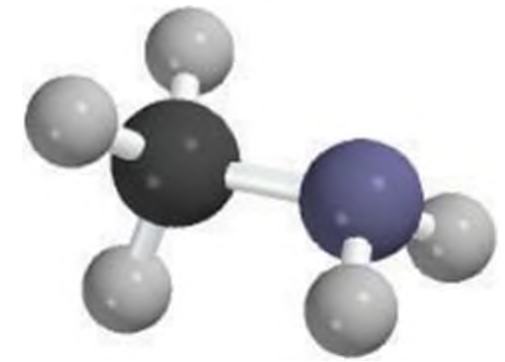
Metilamin



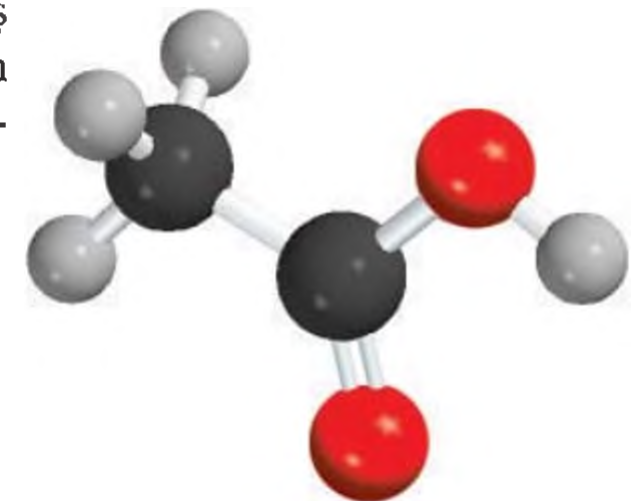
Asetik asit



CH_3OH



CH_3NH_2



CH_3COOH

Çizelge 2.8 Düz Zincirli Alkanların İlk on Üyesi

Adı	Formülü	Molekül Modeli
Metan	CH_4	
Ethan	C_2H_6	
Propan	C_3H_8	
Bütan	C_4H_{10}	
Pentan	C_5H_{12}	
Hekzan	C_6H_{14}	
Heptan	C_7H_{16}	
Oktan	C_8H_{18}	
Nonan	C_9H_{20}	
Dekan	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	

Bu moleküllerin kimyasal özellikleri fonksiyonel gruplarının reaktivliklerine göre öngörülebilir. Başlıca organik bileşik sınıflarının adlandırılması ve fonksiyonel grupların özellikleri Bölüm 24'te tartışılacak olmakla beraber, organik bileşikler kitabının tüm bölümlerinde kimyasal bağlar, asit- baz tepkimeleri ve diğer özelliklere örnek olarak sıklıkla kullanılacaktır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bütanda, bir H atomunun yerine bir hidroksil grubu ($-\text{OH}$) koyarak kaç tane farklı molekül oluşturabilirsiniz? (Çizelge 2.8'e bakınız)?

Anahtar Eşitlik

$$\begin{aligned} \text{kütle numarası} &= \text{proton sayısı} + \text{nötron sayısı} \\ &= \text{atom numarası} + \text{nötron sayısı (2.1)} \end{aligned}$$

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Modern kimya Dalton'un atom kuramı ile başlamıştır. Bu kurama göre, bütün maddeler atom adı verilen çok küçük ve bölünemeyen taneciklerden oluşur. Bir elementin bütün atomları birbirinin aynıdır. Bileşikler, farklı elementlerin atomlarını tam sayılı oranlarda içerirler. Kimyasal tepkimelerde atomlar yoktan var edilemez ve varken yok edilemezler (kütlenin korunumu yasası).
2. Bir bileşiği oluşturan elementlerin atomları daima kütlece aynı oranda birleşirler (sabit oranlar yasası). İki element birden çok bileşik oluşturabiliyorsa, elementlerden bir tanesinin sabit miktarı ile birleşen diğer elementin farklı miktarları arasında küçük tam sayılı bir oran vardır (katlı oranlar yasası).
3. Atom: proton ve nötronlardan oluşan çok yoğun merkezî bir çekirdek ile bu çekirdek etrafında oldukça uzak bir mesafede hareket eden elektronlardan oluşur.
4. Protonlar artı yüklü, nötronlar yüksüz, elektronlar ise negatif yüklüdür. Proton ve nötronların kütlesi hemen hemen aynı olup, elektron kütlesinin 1840 katı kadardır.
5. Atom numarası, bir elementin atomunun çekirdeğindeki proton sayısı olup, elementin kimliğini belirler.
6. İzotoplar bir elementin eşit sayıda proton ancak farklı sayıda nötron içeren atomlarıdır.
7. Kimyasal formüller, bir bileşiği oluşturan ve bileşiğin en küçük biriminde bulunan elementlerin simgelerini ve alt indislerle sayılarını gösterir.
8. Molekül formülü, bir bileşiğin bir molekülünde bulunan atomları ve sayılarını tam olarak gösterir. Kaba formül ise moleküldeki atomların en küçük oranlarını belirtir.
9. Kimyasal bileşikler ya moleküler bileşiklerdir (ki bunlarda en küçük birim belirli ve bağımsız moleküllerdir) ya da iyonik bileşiklerdir (bunlar artı ve eksi iyonların birbirini çekmesi ile bir arada tutulurlar). İyonik bileşikler elementlerin elektron kaybetmesi ya da kazanması ile meydana gelen katyon ve anyonlardan oluşurlar.
10. Anorganik bileşikler bazı basit kurallara göre adlandırılır ve formülleri de bileşiklerin adlarına göre yazılır.
11. Organik bileşikler karbon ile birlikte hidrojen, oksijen ve azot gibi elementleri içerirler. En basit organik bileşikler hidrokarbonlardır.

Anahtar Kelimeler

Alfa (α) tanecikleri, s. 43	Çok atomlu iyon, s. 51	Kaba formül, s. 53	Periyodik çizelge, s. 48
Alfa (α) ışınları, s. 43	Çok atomlu molekül, s. 50	Katlı oranlar yasası, s. 40	Periyotlar, s. 48
Alkali metal, s. 50	Elektron, s. 41	Katyon, s. 51	Proton, s. 44
Allotrop, s. 52	Gama (γ) ışınları, s. 43	Kimyasal formül, s. 52	Radyasyon, s. 41
Ametal, s. 48	Grup, s. 48	Kütle numarası (A), s. 46	Radyoaktivite, s. 43
Anyon, s. 51	Grup, s. 48	Kütlenin korunumu yasası, s. 40	Sabit oranlar yasası, s. 40
Asal gazlar, s. 50	Halojenler, s. 50	Metal, s. 48	Soy gazlar, s. 37
Asit, s. 62	Hidrat, s. 64	Molekül formülü, s. 52	Tek atomlu iyon, s. 51
Atom numarası (Z), s. 46	İki atomlu molekül, s. 50	Molekül, s. 50	Toprak alkali metal, s. 50
Atom, s. 40	İkili bileşik, s. 56	Nötron, s. 45	Üçlü bileşik, s. 57
Baz, s. 64	İnorganik bileşikler, s. 56	Oksianyon, s. 63	Yapı formülü, s. 53
Beta (β) tanecikleri, s. 43	İyon, s. 50	Oksiasit, s. 62	Yarımetal, s. 48
Beta (β) ışınları, s. 43	İyonik bileşik, s. 51	Organik bileşik, s. 56	
Çekirdek, s. 44	İzotop, s. 46		

Sorular ve Problemler

Atomun Yapısı

Tarama Soruları

- 2.1 Aşağıdaki terimleri tanımlayınız: (a) α taneciği. (b) β taneciği. (c) γ ışını. (d) X ışını.
- 2.2 Radyoaktif elementlerin yayımladığı radyasyon türlerini belirtiniz.
- 2.3 Aşağıdakilerin özelliklerini karşılaştırmız: α tanecikleri, katot ışınları, protonlar, nötronlar ve elektronlar.
- 2.4 “Temel tanecik” terimi ne anlamda kullanılır?
- 2.5 Aşağıdaki bilim insanlarının atom yapısının aydınlatılmasına yaptıkları katkıları açıklayınız: J. J. Thomson, R. A. Millikan, Ernest Rutherford, James Chadwick.
- 2.6 Atom çekirdeği, atomun hacminin çok çok küçük bir kısmını oluşturur. Bu hangi deneysel bulgulara dayanmaktadır?

Problemler

- 2.7 Nötür bir helyum atomunun çapı 1×10^2 pm kadardır. Helyum atomları yan yana dizildiğinde 1 cm’lik bir mesafeye kaç tane helyum atomu sığar?
- 2.8 Atom çapı çekirdek çapının 10000 katı kadardır. Bir atomun çekirdeğinin yarıçapı 2 cm(küçük bir taş kadar) olsaydı, bu atomun yarıçapı kaç mil olurdu? (1 mil = 1609 m.)

Atom Numarası, Kütle Numarası ve İzotoplar

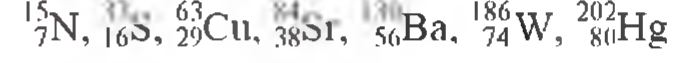
Tarama Soruları

- 2.9 Helyum-4 izotopunu örnek alarak atom numarası ve kütle numarasını tanımlayınız. Atom numarasını bilirse, bir atomdaki elektronların sayısını nasıl buluruz?
- 2.10 Bir elementin atomlarının kütle numaraları farklı olabildiği halde, neden atom numaraları aynıdır?
- 2.11 Bir elementin farklı kütle numarasına sahip atomlarına ne ad verilir?
- 2.12 ${}_Z^AX$ simgesindeki terimlerin anlamını açıklayınız.

Problemler

- 2.13 28 nötronu olan bir demir atomunun kütle numarası nedir?
- 2.14 ${}^{239}\text{Pu}$ atomunun nötron sayısını hesaplayınız.
- 2.15 Aşağıdakilerin her biri için çekirdekteki proton ve nötron sayısını hesaplayınız.
 ${}_2^4\text{He}$, ${}_2^3\text{He}$, ${}_{12}^{24}\text{Mg}$, ${}_{12}^{25}\text{Mg}$, ${}_{22}^{48}\text{Ti}$, ${}_{35}^{79}\text{Br}$, ${}_{78}^{195}\text{Pt}$

- 2.16 Aşağıdakilerin proton, nötron ve elektron sayılarını belirtiniz.



- 2.17 Aşağıdaki izotoplar için uygun simgeleri yazınız: (a) $Z = 11, A = 23$; (b) $Z = 28, A = 64$.
- 2.18 Aşağıdaki izotoplar için uygun simgeleri yazınız: (a) $Z = 74, A = 186$; (b) $Z = 80, A = 201$.

Periyodik Çizelge

Tarama Soruları

- 2.19 Periyodik çizelge nedir, kimya öğreniminde önemi nedir?
- 2.20 Bir metal ve ametal arasındaki iki farkı belirtiniz.
- 2.21 Aşağıdaki sınıflamalarda yer alan dört elementin simgesini ve adını yazınız: (a) ametal, (b) metal, (c) yarımetal (metalmisi).
- 2.22 Aşağıdaki terimleri tanımlayınız ve ikişer örnek veriniz. (a) alkali metaller, (b) toprak alkali metaller, (c) halojenler, (d) asal gazlar.

Problemler

- 2.23 Adları “yum” ile biten elementler genellikle metaldir, örneğin sodyum. Adı “yum” ile biten bir ametal söyleyiniz.
- 2.24 (a) Periyodik çizelgede bir grupta yukarıdan aşağıya doğru; (b) bir periyotta soldan sağa doğru gidildikçe, elementlerin özellikleri nasıl değişir açıklayınız.
- 2.25 Kimyasal ve fiziksel verilerin toplandığı bir el kitabından(nereden bulabileceğinizi öğretim elemanına sorunuz) aşağıda istenenleri bulunuz (a) Yoğunluğu sudan az olan iki metal, (b) yoğunluğu cıvadan fazla olan iki metal, (c) yoğunluğu en yüksek olan katı metal, (d) yoğunluğu en yüksek olan katı ametal.
- 2.26 Aşağıdakileri, benzer kimyasal özelliklerine göre ikişerli guruplarda toplayınız: K, F, P, Na, Cl, ve N.

Moleküller ve İyonlar

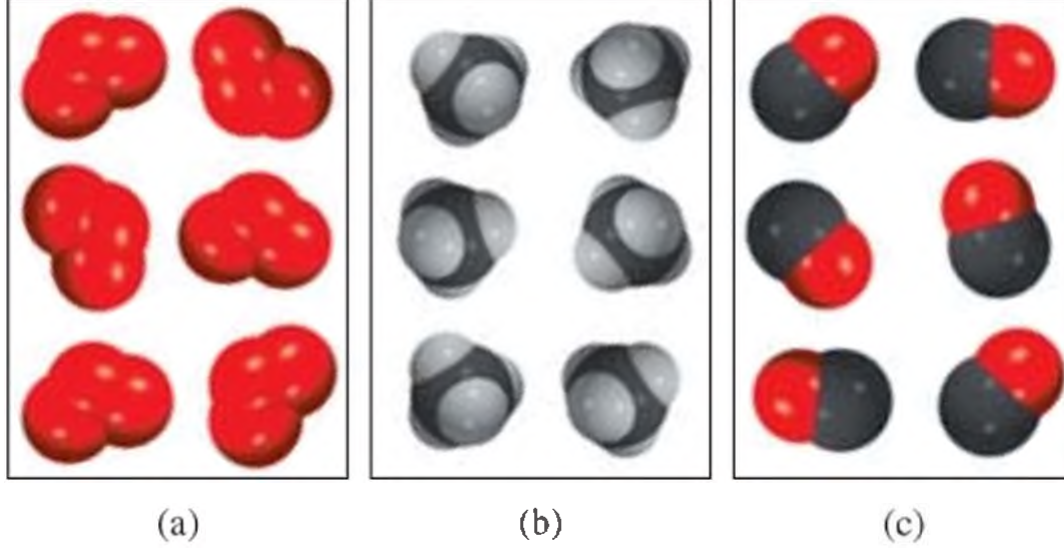
Tarama Soruları

- 2.27 Atomla molekül arasındaki fark nedir?
- 2.28 Allotrop nedir, örnek veriniz. Allotrop ile izotopun farkı nedir?
- 2.29 En çok kullanılan iki molekül modeli türünü açıklayınız.

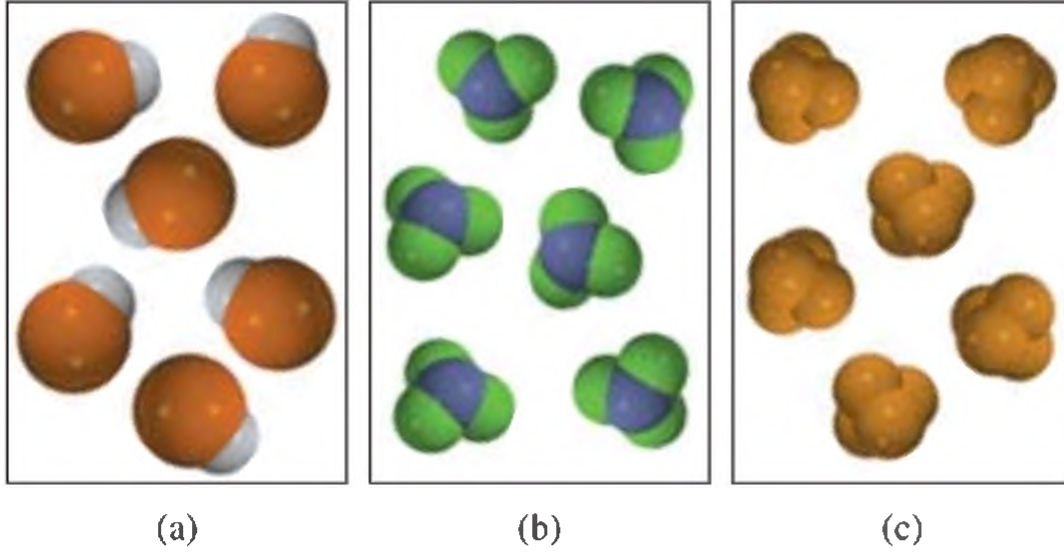
- 2.30 Aşağıdakilere birer örnek veriniz: (a) tek atomlu katyon, (b) tek atomlu anyon, (c) çok atomlu katyon, (d) çok atomlu anyon.

Problemler

- 2.31 Aşağıdaki şekillerden hangisi iki atomlu molekülleri, hangisi çok atomlu molekülleri, hangisi bileşik olmayan molekülleri, hangisi bileşik moleküllerini ve hangisi maddenin element halini göstermektedir?



- 2.32 Aşağıdaki şekillerden hangisi iki atomlu molekülleri, hangisi çok atomlu molekülleri, hangisi bileşik olmayan molekülleri, hangisi bileşik moleküllerini ve hangisi maddenin element halini göstermektedir?



- 2.33 Aşağıdakileri element ya da bileşik olarak tanımlayınız: NH_3 , N_2 , S_8 , NO , CO , CO_2 , H_2 , SO_2 .
- 2.34 Aşağıdakilere ikişer örnek veriniz: (a) Aynı elementin atomlarını içeren iki atomlu molekül, (b) farklı elementlerin atomlarını içeren iki atomlu molekül, (c) aynı elementin atomlarını içeren çok atomlu molekül, (d) farklı elementlerin atomlarını içeren çok atomlu molekül.
- 2.35 Aşağıdaki iyonların proton ve elektron sayısını belirtiniz: Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , I^- , F^- , S^{2-} , O^{2-} , and N^{3-} .
- 2.36 Aşağıdaki iyonların proton ve elektron sayısını belirtiniz: K^+ , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Br^- , Mn^{2+} , C^{4-} , Cu^{2+} .

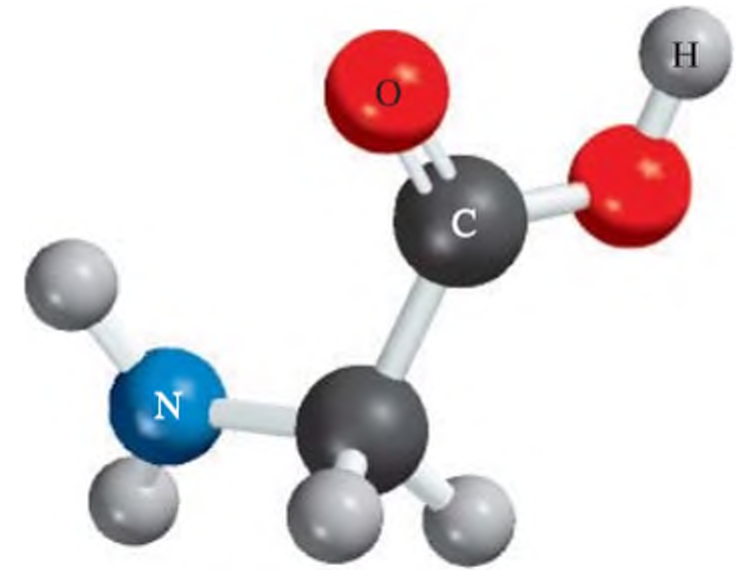
Kimyasal Formüller

Tarama Soruları

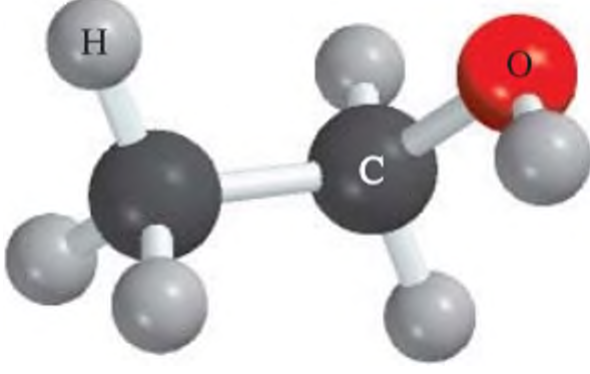
- 2.37 Kimyasal formül neyi temsil eder? Aşağıdaki molekül formüllerinde atomların oranı nedir? (a) NO , (b) NCl_3 , (c) N_2O_4 , (d) P_4O_6
- 2.38 Molekül formülü ve kaba formül nedir, tanımlayınız. Bir bileşiğin kaba formülü ile molekül formülü arasındaki benzerlikler ve farklılıklar nelerdir?
- 2.39 Kaba formülleri aynı, ancak molekül formülleri farklı olan iki bileşiğe örnek veriniz.
- 2.40 P_4 ne anlama gelir, 4P ile farkı nedir?
- 2.41 İyonik bileşik ne demektir? İyonik bir bileşikte elektriksel nötrallık nasıl sağlanmıştır?
- 2.42 İyonik bileşiklerin kimyasal formülleri genellikle kaba formülleri ile aynıdır, neden? Açıklayınız.

Problemler

- 2.43 Aşağıdaki iyonik bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) sodyum oksit, (b) Fe^{2+} iyonu içeren demir sülfür, (c) Co^{3+} ve SO_4^{2-} iyonları içeren kobalt sülfat, ve (d) baryum florür. (İpucu: Şekil 2.11'e bakınız)
- 2.44 Aşağıdaki iyonik bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) Cu^+ iyonu içeren bakır bromür, (b) Mn^{3+} iyonu içeren mangan oksit, (c) Hg_2^{2+} iyonu içeren cıva iyodür, (d) PO_4^{3-} iyonu içeren magnezyum fosfat. (İpucu: Şekil 2.11'e bakınız.)
- 2.45 Aşağıdaki bileşiklerin kaba formüllerini yazınız (a) C_2N_2 , (b) C_6H_6 , (c) C_9H_{20} , (d) P_4O_{10} , (e) B_2H_6
- 2.46 Aşağıdaki bileşiklerin kaba formüllerini yazınız (a) Al_2Br_6 , (b) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, (c) N_2O_5 , (d) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- 2.47 Glisin proteinlerde bulunan bir amino asittir, aşağıdaki şekilden yararlanarak glisin molekül formülünü yazınız. Renk kodları: Siyah (karbon), mavi (azot), kırmızı (oksijen), gri (hidrojen).



- 2.48** Aşağıdaki şekilden yararlanarak etanolün molekül formülünü yazınız. Renk kodları: Siyah (karbon), kırmızı (oksijen), gri (hidrojen).



- 2.49 Aşağıdaki bileşiklerden hangileri iyonik, hangileri moleküler olabilir, belirtiniz: SiCl_4 , LiF , BaCl_2 , B_2H_6 , KCl , C_2H_4
- 2.50** Aşağıdaki bileşiklerden hangileri iyonik, hangileri moleküler olabilir, belirtiniz: CH_4 , NaBr , BaF_2 , CCl_4 , ICl , CsCl , NF_3

İnorganik Bileşiklerin Adlandırılması

Tarama Soruları

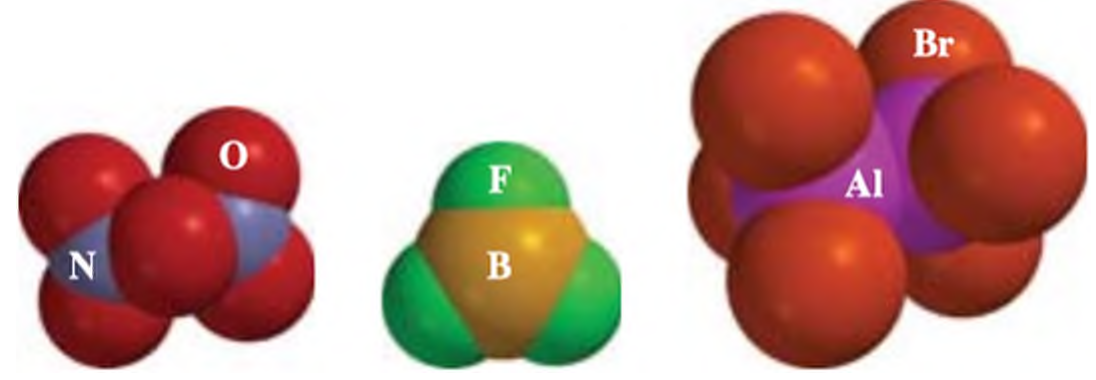
- 2.51 İnorganik bileşiklerle organik bileşikler arasında farklar nelerdir?
- 2.52 İnorganik bileşiklerin en önemli dört sınıfı nedir?
- 2.53 İkili ve üçlü bileşikler için birer örnek veriniz.
- 2.54 Stok sistemi nedir? Eski katyon adlandırma yöntemine göre avantajları nedir?
- 2.55 HCl formülünün iki farklı kimyasal sistemi nasıl temsil edebildiğini açıklayınız.
- 2.56 Aşağıdaki terimleri açıklayınız: asitler, bazlar, oksiasitler, oksianyonlar ve hidratlar.

Problemler

- 2.57 Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, (b) K_2HPO_4 , (c) HBr (gas), (d) HBr (in water), (e) Li_2CO_3 , (f) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (g) NH_4NO_2 , (h) PF_3 , (i) PF_5 , (j) P_4O_6 , (k) CdI_2 , (l) SrSO_4 , (m) $\text{Al}(\text{OH})_3$, (n) $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.
- 2.58** Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) KClO , (b) Ag_2CO_3 , (c) FeCl_2 , (d) KMnO_4 , (e) CsClO_3 , (f) HIO , (g) FeO , (h) Fe_2O_3 , (i) TiCl_4 , (j) NaH , (k) Li_3N , (l) Na_2O , (m) Na_2O_2 , (n) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
- 2.59 Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) rubidyum nitrit, (b) potasyum sülfür, (c) sodyum hidrojen sülfür, (d) magnezyum fosfat, (e) kalsiyum hidrojen fosfat, (f) potasyum dihidrojen fosfat, (g) iyot heptaflorür, (h) amonyum sülfat, (i) gümüş perklorat, (j) bor triklorür.
- 2.60** Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) bakır(I) siyanür, (b) stronsiyum klorit, (c) perbromik asit, (d) hidroiyodik asit, (e) disodyum amonyum fosfat, (f) kurşun(II) karbonat, (g) kalay(II) florür, (h) tetrafosfor dekasülfür, (i) cıva(II) oksit, (j) cıva(I) iyodür, (k) selenyum heksaflorür.

- 2.61 Kükürt ile flor birçok farklı bileşik oluşturur. Bunlardan bir tanesi SF_6 'dır ve bu bileşikte 1 g S ile 3,5 g F birleşmiştir. Katlı oranlar yasasından yararlanarak, 1 g kükürdün 2,37 g F ile birleştiği SF_n bileşiğinde n 'nin değerini bulunuz.

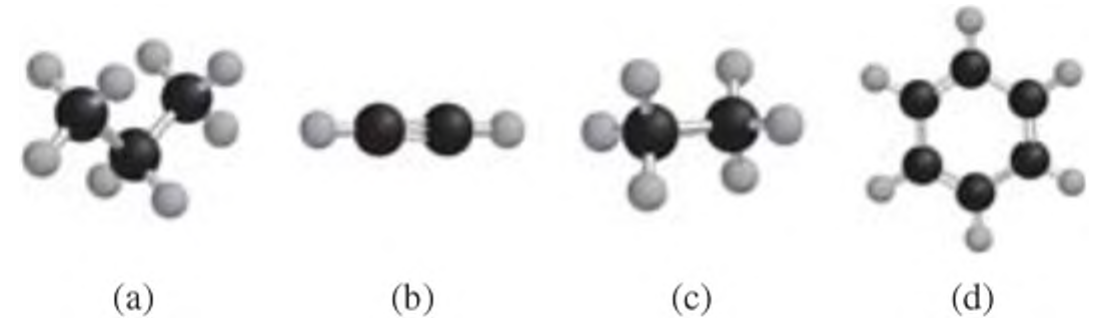
- 2.62** Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız.



- 2.63 Aşağıdakilerden aynı sayıda elektron içerenleri eşleştiriniz: Ar , Sn^{4+} , F^- , Fe^{3+} , P^{3-} , V , Ag^- , N^{3-} .
- 2.64** Aşağıdakileri içeren atomların simgelerini yazınız: (a) 25 proton, 25 elektron, ve 27 nötron, (b) 10 proton, 10 elektron, ve 12 nötron, (c) 47 proton, 47 elektron, ve 60 nötron, (d) 53 proton, 53 elektron, ve 74 nötron, (e) 94 proton, 94 elektron, ve 145 nötron.

Ek Problemler

- 2.65 Bir uranyum bileşiği örneğinin yavaş yavaş kütle kaybettiği gözlenmiştir. Bu örneğe neler olmaktadır? Açıklayınız.
- 2.66** Aşağıdaki çiftlerin hâgisindeki iki türün kimyasal özellikleri birbirine en çok benzer? Açıklayınız. (a) $|\text{H}|$ ve $|\text{H}^+|$, (b) ^{14}N ve $^{14}\text{N}^{3-}$, (c) ^{12}C ve ^{13}C .
- 2.67 Metalik bir elementin bir izotopunun kütle numarası 65 olup çekirdeğinde 35 nötron vardır. Bu izotopun katyonunda 28 elektron bulunduğuna göre, katyonun simgesini yazınız.
- 2.68** Ametal bir elementin bir izotopunun kütle numarası 127 olup çekirdeğinde 74 nötron vardır. Bu izotopun anyonunda 54 elektron bulunduğuna göre, anyonun simgesini yazınız.
- 2.69 Aşağıda gösterilen bileşiklerin molekül formüllerini ve kaba formüllerini yazınız. (Siyah küreler karbon gri küreler ise hidrojenidir).



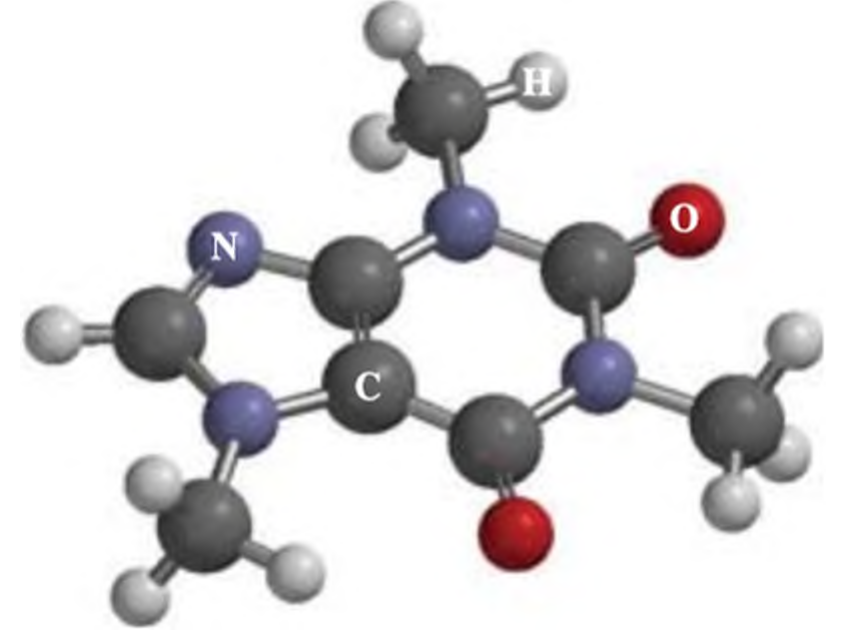
- 2.70** “Dört tane NaCl molekülü” ifadesi neden yanlış ve neden açık ve net değildir?

- 2.71 Aşağıdaki fosfor sülfürleri bilinen bileşiklerdir. Bu bileşikler katlı oranlar yasasına uyar mı? P_4S_3 , P_4S_7 , P_4S_{10} .
- 2.72 Aşağıdakilerden hangileri elementtir, hangileri moleküldür ancak bileşik değildir, hangileri bileşiktir ancak molekül değildir ve hangileri hem bileşiktir hem de moleküldür? (a) SO_2 , (b) S_8 , (c) Cs , (d) N_2O_5 , (e) O , (f) O_2 , (g) O_3 , (h) CH_4 , (i) KBr , (j) S , (k) P_4 , (l) LiF .
- 2.73 Aşağıdaki çizelgede bazı elementlerin atom ya da iyonlarındaki elektron, proton ve nötron sayıları verilmiştir. (a) Hangi türler nötrdür? (b) Hangileri eksi yüklüdür? (c) Hangileri artı yüklüdür? (d) Bu türlerin simgelerini yazınız.

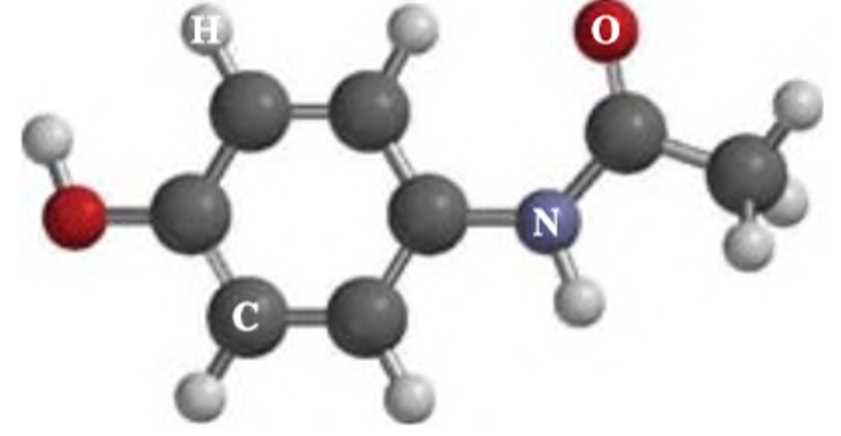
Atom, iyon ya da element	A	B	C	D	E	F	G
Elektron sayısı	5	10	18	28	36	5	9
Proton sayısı	5	7	19	30	35	5	9
Nötron sayısı	5	7	20	36	46	6	10

- 2.74 Aşağıdaki elementleri tanımlayınız ve her birinin proton ve nötron sayısını belirtiniz: (a) $^{20}_{10}X$, (b) $^{63}_{29}X$, (c) $^{107}_{47}X$, (d) $^{182}_{74}X$, (e) $^{203}_{84}X$, (f) $^{234}_{94}X$.
- 2.75 Aşağıdaki element çiftlerinin her biri tepkimeye girip iyonik bir bileşik oluşturur. Bu bileşiklerin formüllerini yazınız ve adlandırınız. (a) baryum ve oksijen, (b) kalsiyum ve fosfor, (c) alüminyum ve kükürt, (d) lityum ve azot.
- 2.76 Aşağıda verilen tanımların (a – h) her birini verilen elementlerden biri ile eşleştiriniz. P, Cu, Kr, Sb, Cs, Al, Sr, Cl. (a) Bir geçiş metali, (b) –3 iyonu oluşturan bir ametal, (c) bir asal gaz, (d) bir alkali metal, (e) +3 iyonu oluşturan bir metal, (f) bir yarımetal, (g) iki atomlu moleküller halinde bulunan bir gaz, (h) bir toprak alkali metal.
- 2.77 Anyonlar daima oluştukları atomdan daha büyük, katyonlar ise daha küçüktür. Bunun nedenini açıklayınız. (*İpucu:* protonlarla elektronların arasındaki elektrostatik çekim kuvvetlerini hatırlayınız.)
- 2.78 (a) Rutherford'un deneyini ve bu deney sonuçlarına göre atomun yapısına nasıl ulaşıldığını açıklayınız. Rutherford, α tanecikleri saçılma deneyinden çekirdekteki proton sayısını nasıl bulabilmiştir? (b) ^{23}Na atomunu ele alınız; bu atomun çekirdeğinin yarıçapı ve kütlesi sırasıyla $3.04 \times 10^{-15} m$ ve $3.82 \times 10^{-23} g$ olduğuna göre, çekirdeğin yoğunluğunu g/cm^3 cinsinden hesaplayınız. ^{23}Na atomunun yarıçapı 186 pm'dir, buna göre sodyum atomunda elektronların bulunduğu bölgenin yoğunluğunu hesaplayınız. Bulduğunuz sonuçlar Rutherford'un atom modelini destekler nitelikte midir? [Kürenin hacmi $(4/3)\pi r^3$ olup, burada r yarıçaptır.]

- 2.79 Aşağıda gösterilen kafein uyarıcı bir ilaçtır. Bu bileşiğin molekül formülünü ve kaba formülünü yazınız.



- 2.80 Aşağıda gösterilen asetaminofen. Tylenol adlı ilacın etken maddesidir. Bu bileşiğin molekül formülünü ve kaba formülünü yazınız.



- 2.81 Aşağıdaki bileşiklerin kimyasal formüllerinde ne gibi yanlışlıklar vardır? (a) magnezyum iyodat, $[Mg(IO_4)_2]$, (b) fosforik asit, (H_3PO_3) , (c) baryum sülfat, (BaS) , (d) amonyum bikarbonat, (NH_3HCO_3) .
- 2.82 Aşağıdaki bileşiklerin parantez içinde verilen adları niçin yanlıştır? (a) $SuCl_4$ (kalay klorür), (b) Cu_2O (bakır (II) oksit), (c) $Co(NO_3)_2$ (kobalt nitrat), (d) $Na_2Cr_2O_7$ (sodyum kromat).
- 2.83 Aşağıdaki çizelgede boşlukları doldurunuz:

Simge		$^{54}_{26}Fe^{2+}$			
Proton	5			79	86
Nötron	6		16	117	136
Elektron	5		18	79	
Net yük			-3		0

- 2.84 (a) İyonik bileşikler en çok hangi elementler oluşturur? (b) Farklı yüklere sahip katyonları en çok hangi metalik elementler oluşturur?
- 2.85 Aşağıdakilerden elde edilen yaygın iyonların formülünü yazınız (a) Li, (b) S, (c) I, (d) N, (e) Al, (f) Cs, (g) Mg.

- 2.104** Sayfa 40'ta kütle ve enerjinin *kütle – enerji* adı verilen tek bir olgunun değişik biçimleri olduğuna işaret edilmişti. Bu iki fiziksel değer arasındaki ilişki Einstein'ın ünlü denklemi $E = mc^2$ olup burada. E = enerji, m = kütle ve c = ışık hızıdır. Bir yanma deneyinde 12.096 g hidrojen molekülünün 96.000 g oksijen molekülü ile su oluşturmak üzere birleşip 1.715×10^3 kJ ısı açığa çıktığı bulunmuştur. Bu tepkime-deki kütle değişimini hesaplayınız, ve sıradan kimyasal süreçler için kütle korunumu yasasının geçerli olup olmadığı konusunda yorum yapınız. (*İpucu:* Einstein denklemi enerji değişimi sonucunda meydana gelen kütle değişimini hesaplamakta kullanılabilir. $1\text{J} = 1\text{ kg m}^2/\text{s}^2$ ve $c = 3.00 \times 10^8\text{ m/s}$)
- 2.105** Aşağıdaki hidrokarbonlar için mümkün olan tüm yapı formüllerini çiziniz: CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , and C_5H_{12} .
- 2.106** (a) Çekirdeğin küresel olduğunu kabul edip çekirdek yarıçapının, r , kütle numarasının (A) küp kökü ile orantılı olduğunu gösteriniz. (b) Genellikle çekirdeğin yarı çapı $r = r_0 A^{1/3}$ olarak verilir. Burada r_0 orantı sabiti olup değeri $1.2 \times 10^{-15}\text{ m}$ 'dir. ${}^7\text{Li}$ çekirdeğinin hacmini hesaplayınız. (c) Li atomunun yarıçapı 152 pm olduğun göre, lityum çekirdeği lityum atomunun hacminin ne kadarını kaplamaktadır, hesaplayınız. Bulduğunuz sonuç Rutherford'un atom modelini destekler nitelikte midir?
- 2.107** Formülü $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ olan iki farklı yapı formülü çiziniz. Aynı molekül formülüne sahip farklı bileşiklerin bulunması Dalton atom kuramı ile uyumlu mudur?
- 2.108** Etan ve asetilen gaz halde bulunan iki hidrokarbondur. Kimyasal analiz sonuçlarına göre bir etan örneğinde 2.65 g karbon ile 0.665 g hidrojen, bir asetilen örneğinde ise 4.56 g karbon ile 0.383 g hidrojen birleşmiştir. (a) Bu sonuçlar katlı oranlar yasası ile uyumlu mudur? (b) Bu bileşiklerin molekül formüllerini yazınız.
- 2.109** Platinden (Pt) oluşan bir kübün kenarı 1.0 cm'dir. (a) Bu küpteki Pt atomlarının sayısını hesaplayınız. (b) Atomlar küresel biçimdedir, bu nedenle küpteki Pt atomları kübün hacminin tümünü kaplayamaz. Pt atomlarının küp hacminin yüzde 74'ünü doldurduğunu varsayarak, bir Pt atomunun yarıçapını piko-

metre cinsinden hesaplayınız. Pt nin yoğunluğu 21.45 g/cm^3 olup bir Pt atomunun kütlesi ise $3.240 \times 10^{-22}\text{ g}$ 'dır. [Yarıçapı r olan bir kürenin hacmi $(4/3)\pi r^3$ tir.]

- 2.110** Tek atomlu bir iyonun yükü +2 dir. Bu iyonun atom çekirdeğinin kütle numarası 55'tir. Çekirdekdeki nötronların sayısı proton sayısının 1.2 katı ise, elementin adı ve simgesi nedir?
- 2.111** Aşağıdaki 2×2 bulmaca her harf, hem kendi başına hem de yatay dikey ve çapraz yönlerde doğru ve anlamlı olmalıdır. Bulmaca tamamlandığında dört bölgede 10 tane elementin çıkışan simgeleri bulunacaktır. Herbir karede büyük harf kullanınız. Sadece bir doğru çözümü vardır*

1	2
3	4

Yatay

- 1–2: Çok eski zamanlarda kullanılan bir metalin iki harfli simgesi
- 3–4: Grup 5A'da bulunan ve havada yanan bir metalin iki harfli simgesi

Dikey

- 1–3: Bir yarı metalin iki harfli simgesi
- 2–4: ABD'de, bozuk paralarda kullanılan bir metalin iki harfli simgesi

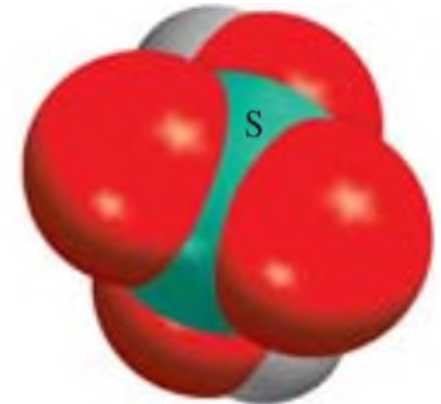
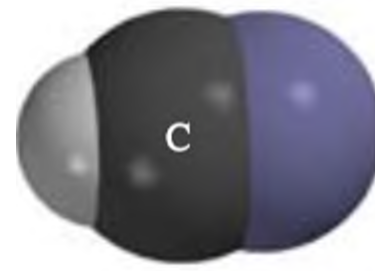
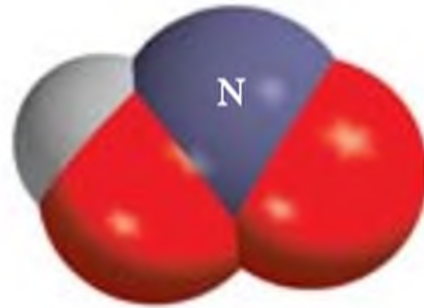
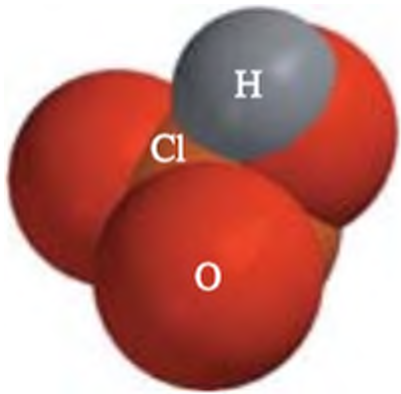
Tek kareler

- 1: Renkli bir ametal
- 2: Renksiz bir gaz olan bir ametal
- 3: Havai fişeklere yeşil rengi veren element
- 4: Tıpta kullanılan bir element

Çapraz

- 1–4: Elektronik sanayiinde kullanılan iki harfli bir elementin simgesi
- 2–3: Süper iletken mıknatıslar için tel yapımında Zr ile birlikte kullanılan bir metalin iki harfli simgesi

- 2.112** Aşağıdaki asitleri adlandırınız.



*S. J. Cyvin'in (Trondheim Üniversitesi Norveç) izni ile basılmıştır. Bu bulmaca daha önce *Chemical & Engineering News*, Aralık 14, 1987 (s. 86) ve *Chem Matters*, Ekim 1988 sayısında çıkmıştır.

- 2.113 $^{56}_{26}\text{Fe}$ çekirdeğinin kütlesi $9,229 \times 10^{-23}$ g olduğuna göre, bu atomun çekirdeğinin yoğunluğunu hesaplayınız. Bulduğunuz sonuçtan yararlanarak, birden çok protonu olan bir atom çekirdeğinde nötronların da var olması gerektiği konusunda yorum yapınız. (İpucu: problem 2.106'ya bakınız.)
- 2.114 X elementi ile Y elementi tepkimeye girip X^{4+} ve Y^{2-} iyonlarını içeren iyonik bir bileşik oluştururlar. Bu bileşik için bir formül yazınız ve bu elementlerin hangi periyodik gruplarda bulunabileceğini belirtiniz. Temsili bileşiği adlandırınız.

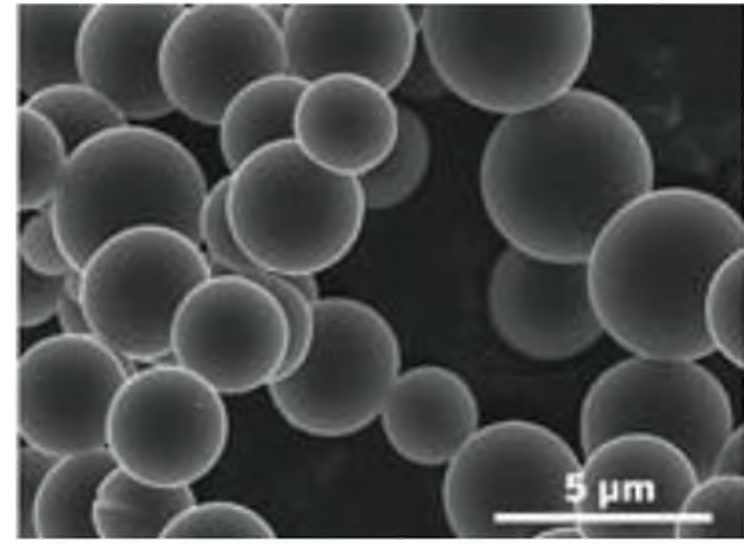
- 2.115 Metan, etan ve propan Çizelge 2.8'de gösterilmiştir. Aşağıdaki verilerin katlı oranlar yasası ile uyumlu olduğunu gösteriniz.

	1g Örnekteki Karbon Kütlesi	1 g Örnekteki Hidrojen Kütlesi
Metan	0,749 g	0,251 g
Etan	0,799 g	0,201 g
Propan	0,817 g	0,183 g

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 2.116 Rutherford'un saçılma deneyinde bir α taneciği bir altın çekirdeğine doğru ilerlemektedir. Bu taneciğin kinetik enerjisinin tamamı elektriksel potansiyel enerjiye dönüştüğünde tanecik duracaktır. Bu gerçekleştiğinde, kinetik enerjisi $6,0 \times 10^{-14}$ J olan bir α taneciği çekirdeğe ne kadar yaklaşmış olur? [Coulomb Yasasına göre iki yüklü tanecik arasındaki elektriksel potansiyel enerji, $E = kQ_1Q_2/r$ olup burada Q_1 ve Q_2 , α taneciğinin ve altın çekirdeğinin yükleri, r metre cinsinden yüklü tanecikler arasındaki mesafe, ve $k = 9,0 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^3/\text{s}^2 \cdot \text{C}^2$ olan bir sabittir. Joule (J) enerji birimi olup $\text{J} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$ dir.
- 2.117 Yanda verilenlerin boyutlarını karşılaştırmız: Li , Li^+ , Li^- .
- 2.118 Yandaki iki magnezyum izotopunun atom büyüklüklerini karşılaştırmız: ^{24}Mg , ^{26}Mg .
- 2.119 Görünür bölgede biz insanlar çıplak gözle 2×10^{-5} cm'den daha küçük olan nesneleri göremeyiz. Yaklaşık olarak kaç tane gümüş atomu yanyana dizili olursa, biz bu atomları görebiliriz?
- 2.120 Bir atomun çekirdeği bir bezelye büyüklüğünde olsaydı, elektronlar çekirdekten yaklaşık olarak kaç metre uzakta olurdu?

- 2.121 Sodyum ve potasyum yer yüzünde yaklaşık olarak eşit bollukta bulunur ve bileşiklerinin çoğu da suda çözünür. Buna rağmen deniz suyu sodyum oranı potasyumdan çok daha yüksektir. Açıklayınız.
- 2.122 Plastik alışveriş torbalarının geri dönüşümü için önerilen yöntemlerden biri, bunların 700°C ve yüksek basınçta ısıtılarak, çeşitli uygulamalarda kullanılabilen karbon mikroküreciklerin oluşturulmasıdır. Elektron mikroskobu bu yöntemle elde edilen bazı temsili karbon mikrokürecikleri göstermektedir. Aşağıdaki şekilde görülen mikro küreciklerin ölçeği şeklin sağ alt köşesinde verilmiştir. Tipik bir karbon mikrokürecikte kaç tane karbon atomu vardır, belirtiniz.



Alıştırmaların Cevapları

- 2.1 29 proton, 34 nötron ve 29 elektron. 2.2 CHCl_3 .
2.3 $\text{C}_5\text{H}_7\text{N}$. 2.4 (a) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ (b) TiO_2
2.5 (a) Vanadyum (V) oksit (b) Lityum sülfat.

- 2.6 (a) Rb_2SO_4 (b) BaH_2 2.7 (a) Azot triflorür, (b) diklor heptoksit. 2.8 (a) SF_4 , (b) N_2O_5 .
2.9 (a) Hipobromöz asit, (b) hidrojen sülfat iyonu

Kimyasal Tepkimelerde Kütle İlişkileri



Havai fişek gösterileri, enerji veya madde üretiminden ziyade, muhteşem renkleri oluşturan kimyasal tepkimelerdir.

Bölüm Başlıkları

- 3.1 Atom Kütleli
- 3.2 Avogadro Sayısı ve bir Elementin Mol Kütleli
- 3.3 Molekül Kütleli
- 3.4 Kütle Spektrometresi
- 3.5 Bileşiklerin Yüzde Bileşimi
- 3.6 Kaba (basit) Formüllerin Deneyisel olarak Belirlenmesi
- 3.7 Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Eşitlikler
- 3.8 Tepken ve Ürünlerin Miktarları
- 3.9 Sınırlayıcı Bileşenler
- 3.10 Tepkime Verimi

Toplu Bakış

- Bir atomun kütleli C-12 izotop ölçeğine bağlı olduğunu ifade ederek başlayabiliriz. Bir C-12 izotop atomu tam 12 atomik kütle birimi (akb) olarak verilir. Daha kullanışlı olan gram ölçeği ile çalışmak için, mol kütleli kullanırız. C-12'nin mol kütleli, tam olarak 12 gramdır ve Avogadro sayısı (6.022×10^{23}) kadar C-12 atomu içerir. Diğer elementlerin mol kütleli de gram olarak ifade edilir ve yine aynı sayıda atom içerir. (3.1 ve 3.2)
- Atom kütleli tartışması bizi, atomların kütleli toplamı olan mol kütleliye götürür. Atom ve mol kütleli tayinin en kısa yolunun ise, bir kütle spektrometresi kullanmak olduğunu öğreneceğiz (3.3 ve 3.4)
- Çalışmamıza moleküller ve iyonik bileşikler öğrenerek devam edeceğiz. kimyasal formüllerinden yüzde bileşimlerinin nasıl hesaplanacağını öğreneceğiz. (3.5)
- Bir bileşiğin basit (kaba) ve molekül formülünün deneyisel olarak nasıl belirleneceğini öğreneceğiz. (3.6)
- İleride, bir kimyasal tepkimenin türünü bildiğimizde buna uygun nasıl bir kimyasal denklem yazacağımızı öğreneceğiz. Başlangıç maddeleri olan tepkenler ve tepkime sonucunda oluşan ürünlerin atom sayıları ve türlerini eşitlemek için, bir kimyasal tepkimenin nasıl denkleştirildiğini öğreneceğiz (3.7)
- Kimyasal tepkimelerle ilgili önceki bilgilerimize dayanarak, kimyasal tepkimelerde kütle ilişkilerine geçeceğiz. Bir kimyasal eşitlik, kullanılan madde miktarına bağlı olarak, elde edilecek olan ürünün miktarını mol yöntemini ile öngörmemizi sağlar. Buna göre, ne kadar tepken kullanıldığı biliniirse, oluşan ürünün veya ürünlerin miktarı tahmin edilebilir. Ayrıca, bir tepkime veriminin, tepkimede harcanan ve miktarca az olan sınırlayıcı bileşene bağlı olduğunu göreceğiz. (3.8 ve 3.9)
- Bir tepkimeye ait gerçek verimin, bazı nedenlerden dolayı, teorik verim olarak da adlandırılan ve denklemden tahmin edilenden verimden her zaman daha az olduğunu öğreneceğiz. (3.10)

Bu bölümde atom ve moleküllerin kütleleri üzerinde duracağız, kimyasal değişimler olduğunda atom ve moleküllerin ne olduğunu öğreneceğiz. Bunun için dayanağımız kütlenin korunumu kanunu olacaktır.

3.1 Atom Kütle

Bu bölümde, daha önce öğrendiğimiz kimyasal yapı ve formüllerden yararlanarak, atom ve moleküllerin kütle ilişkilerini öğreneceğiz. Bu ilişkiler bize, daha sonra, bileşiklerin bileşimleri ve bileşimlerdeki değişimleri açıklamamızda yardımcı olacaktır.

Atomun kütlesi içerdiği elektron, proton ve nötron sayısına bağlıdır. Atom kütlesinin bilinmesi laboratuvar çalışmaları için gereklidir. Ancak, atomlar yapıları itibarıyla çok küçük parçacıklardır. Öyle ki, bir göze kaçabilen çok küçük bir toz parçacığı bile 1×10^{16} atom içerir! Bu nedenle, bir tek atomun tartılması mümkün değildir. Ancak atom kütlesi göreceli olarak başka bir atoma göre verilebilir. Bunun için karşılaştırma olarak kullanılacak bir atom kütlesi gereklidir.

Uluslararası kabüllere göre, *atom kütlesi* (bazen *atom ağırlığı* denilmektedir) atom kütle birimi (akb) ile verilir. Bir *atom kütle birimi*, tam olarak C-12 atomunun kütlesinin $1/12$ 'sine eşittir. C-12, karbon atomunun izotopu olup altı proton ve altı nötron içerir. C-12 izotopunun kütlesinin 12 akb olarak standart kabul edilmesi, diğer elementlerin kütlelerinin buna göre ölçülmesini sağlar. Örneğin, deneysel bulgular hidrojen atomunun kütlesinin ortalama olarak C-12 kütlesinin %8,400'ü olduğunu göstermiştir ve C-12 izotopunun kütlesi 12 akb olduğundan, hidrojen atomunun kütlesi $0,08400 \times 12$ akb veya 1,008 akb olur. Benzer hesaplamalar oksijen atomunun kütlesinin 16,00 akb ve demirin kütlesinin 55,85 akb olduğunu göstermiştir. Buna göre, demirin kütlesi hidrojenin kütlesinin yaklaşık 56 katı olur.

Ortalama Atom Kütle

Periyodik çizelgeye bakıldığında, karbon atomu kütlesinin 12,00 akb olmayıp, 12,01 akb olduğu görülür. Bu farkın nedeni, doğada bulunan elementlerin birden fazla izotopunun bulunmasıdır. Bunun anlamı şudur: elementin atom kütlesi ölçülürken, genellikle doğada bulunan izotopların *ortalama kütleleri* ölçülür. Örneğin, karbon-12 ve karbon-13 atomlarının doğal izotop bollukları sırasıyla %98,90 ve %1,10'dur. Karbon-13 atomunun kütlesi 13,00335 akb olarak bulunmuştur. Böylece, karbon atomunun ortalama atom kütlesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

doğal karbonun ortalama

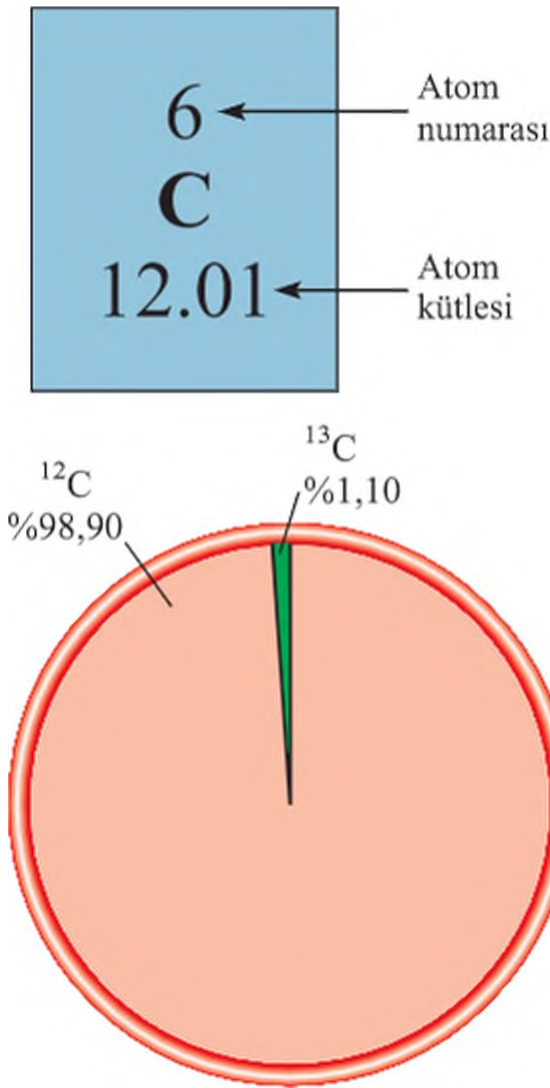
$$\begin{aligned} \text{atom kütlesi} &= (0,9890)(12 \text{ amu}) + (0,0110)(13,00335 \text{ akb}) \\ &= 12,01 \text{ amu} \end{aligned}$$

Yüzde değerler hesaplamalarda kullanırken, kesirlere dönüştürülmelidir. Örneğin %98,90 değeri 98,90/100 ya da 0,9890'a eşittir. Karbon-12 atomunun izotop bolluğu, C-13'e göre daha fazla olduğundan, karbonun ortalama atom kütlesi, 12 değerine daha yakındır.

Karbon-12 izotopunun atom kütlesi 12,01 akb denildiğinde, anlaşılması gereken en önemli nokta bu değer *ortalama* değer olduğudur. Eğer karbon atomları ayrı ayrı incelenmiş olsaydı, karbon atomunun kütlesi ya 12,0000 akb ya da 13,00335 akb olurdu, ama hiçbir zaman 12,01 akb olmazdı. Örnek 3.1 bir elementin ortalama atomik kütlesinin nasıl hesaplandığını gösterir.

Kesim 3.4 atom kütlesi tayini için bir yöntemi açıklamaktadır.

Bir atomik kütle birim bir Dalton olarak da tanımlanır



C-12 ve C-13 izotoplarının doğal dağılımları (bollukları)

Örnek 3.1

İlk çağlardan itibaren bilinen bakır, elektrik kablolarının, madeni paraların ve diğer maddelerin yapımında kullanılmaktadır. Bakırın iki kararlı izotopunun bolluk yüzdeleri $^{63}_{29}\text{Cu}$ (%69,09) ve $^{65}_{29}\text{Cu}$ (%30,91) olup atom kütleleri ise 62,93 akb ve 64,9278 akb'dir. Bakır atomunun ortalama atom kütlelerini, parantez içerisinde verilen bolluk yüzdelerini kullanarak hesaplayınız.

İzlenecek Yol Her izotop, doğal bolluğuna bağlı olarak, ortalama atom kütlelerine katkıda bulunur. İzotopların kütlelerinin doğal bolluk kesri ile (% değil) çarpılması sonucu, istenilen atomun ortalama atom kütlesi bulunur.

Çözüm Önce, yüzdeler kesirlere dönüştürülür: %69,09 sayısı 69,09/100 yani 0,6909 olur. %30,91 = 30,91/100 yani 0,3091 olur. Her bir izotopun ortalama atom kütlelerine katkısını bulmak istediğimize göre, ortalama atom kütlelerini hesaplamak için bu katkıları toplamamız gerekir.

$$(0,6909)(62,93 \text{ akb}) + (0,3091)(64,9278 \text{ akb}) = 63,55 \text{ akb}$$

Kontrol Ortalama atom kütlelerinin her iki izotopun kütlelerinin ortasında bir değer olması beklenir. Bu nedenle, yukarıdaki yanıt uygundur. $^{63}_{29}\text{Cu}$ izotopunun bolluğu $^{65}_{29}\text{Cu}$ izotopunun bolluğundan daha fazla olduğundan, ortalama atom kütlesi olarak bulunan 63,55 akb değeri 62,93 akb'ye 64,9278 akb'den daha yakındır.

Alıştırma Bor elementinin kararlı izotoplarının doğal bolluğu sırasıyla, $^{10}_5\text{B}$ (%19,78) ve $^{11}_5\text{B}$ (%80,22) ve atom kütleleri, 10,0129 akb ve 11,0093 akb'dir. Bor atomunun ortalama atom kütlelerini hesaplayınız.

Birçok elementin atom kütlesi beş ya da altı anlamlı sayıya kadar kesin olarak bulunmuştur. Ancak, biz amacımıza uygun olması nedeniyle dört anlamlı sayıya kadar kullanacağız (kitabın ön kapağında verilen atom kütleleri çizelgesine bakınız). Kolaylık sağlaması bakımından “ortalama” sözcüğü kullanılmayacak ve elementlerin atom kütleleri denilecektir.

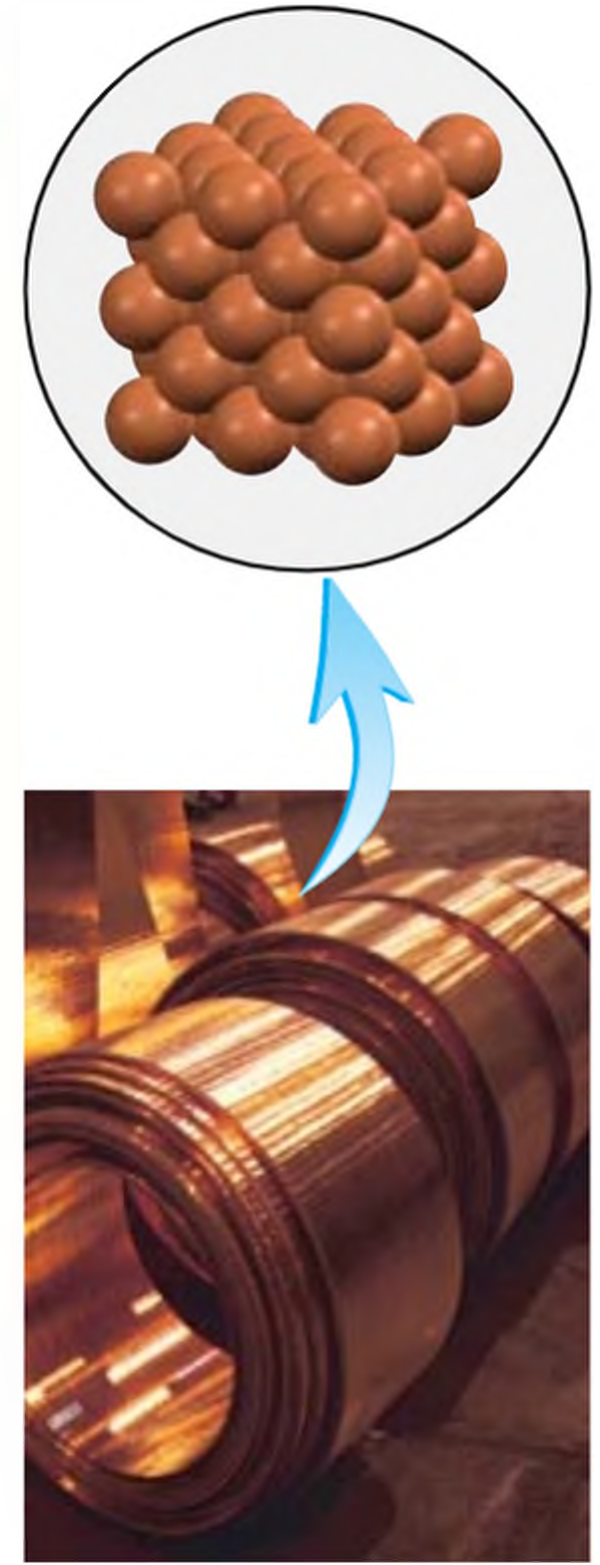
Kavramların Değerlendirilmesi

İridiyumun karalı iki izotopu vardır: Bunlar $^{191}_{77}\text{Ir}$ (190,96 akb) ve $^{193}_{77}\text{Ir}$ (192,96 akb) dır. Büyük bir miktarda toplanmış halde bulunan iridyum atomlarından rastgele bir atomu seçerseniz, muhtemelen hangi izotopu seçmiş olursunuz?

3.2 Avogadro Sayısı ve Elementlerin Mol Kütleleri

Atom kütle birimleri göreceli olduğundan, elementlerin kütleleri için göreceli bir eşel oluştururlar. Fakat, atomların kütleleri çok küçük olduğundan, elementleri atom kütle birimleri cinsinden tartamayız. Çoğu kez o kadar büyük miktarlarla çalışınız ki elimizdeki örnek katrilyonun katrilyon katından daha fazla atom içerir. Bu yüzden, çok büyük sayıda atomu ifade edebilmek için özel bir birime ihtiyaç duyulmuştur. Aslında, belirli sayıda çokluğu belirten birimlerin kullanılması düşüncesi yeni değildir. Sözelimi, çift (2 parça), düzine (12 parça) ve gros (144 parça) ve benzer birimler çok eskilerden beri kullanılmaktadır. İşte, kimyacılar da atom ve molekülleri ölçmek için mol kavramını kullanırlar.

SI birim sistemine göre **mol**, 12 g (ya da 0,012 kg) C-12 izotopunun içerdiği atom sayısı kadar tanecik (atom, molekül ya da diğer tanecikler) içeren madde miktarıdır. 12g C-12'de bulunan gerçek atom sayısı deneysel olarak tayin edilir. Bu sayı **Avogadro**



Bakır metal ve bakırın katı hal yapısı.

Benzer problemler: 3.5, 3.6.

“Mol” adından oluşturulan sıfat “molar” dır.

Şekil 3.1 Çok bilinen birkaç elementin birer molü. Karbon (siyah kömür tozu şeklinde), kükürt (sarı toz), demir (çivi olarak), bakır teller, civa (parlak sıvı metal).



sayısı (İtalyan bilim adamı Amedeo Avogadro¹'nin anısına) olarak adlandırılır. Avogadro sayısının son kabul edilen hali şöyledir:

$$N_A = 6,0221415 \times 10^{23}$$

Genellikle, Avogadro sayısı 6.022×10^{23} e yuvarlanır. Böylece, bir düzine portakalın 12 portakal içermesi gibi, 1 mol hidrojen atomu da $6,022 \times 10^{23}$ tane H atomu içerir. Şekil 3.1'de değişik elementlerin birer molları gösterilmektedir.

Avogadro sayısının büyüklüğünü hayal etmek bile güçtür. Örneğin $6,022 \times 10^{23}$ adet portakalı yeryüzünün tamamına dağıttığımızda, uzaya doğru 14,5 km'lik bir tabaka oluşturacaktır! Atomlar ve moleküller çok küçük olduklarından, onların inlenmesi için gereken miktarların içerisinde, akıl almaz sayılarda atom ve moleküller bulunacaktır.

Daha önce gördüğümüz gibi, 1 mol karbon-12 atomunun tam kütlesi 12 g olup $6,022 \times 10^{23}$ atom içerir. Karbon-12'nin bu kütlesi ***mol kütlesi*** (*M*) olup, *bir mol atom ya da molekülün (gram ya da kilogram cinsinden) kütlesi* olarak tanımlanır. Karbon-12 atomu mol kütlesinin (gram olarak) sayısal bakımından, akb cinsinden atom kütlesine eşit olduğunu unutmayınız. Benzer şekilde, sodyum (Na) atomunun kütlesi 22,99 akb ve mol kütlesi 22,99 g; fosfor (P) elementinin atom kütlesi 30,97 akb ve mol kütlesi 30,97 g'dır. Yani bir elementin atom kütlesi bilindiğinde, mol kütlesi de bilinir demektir.

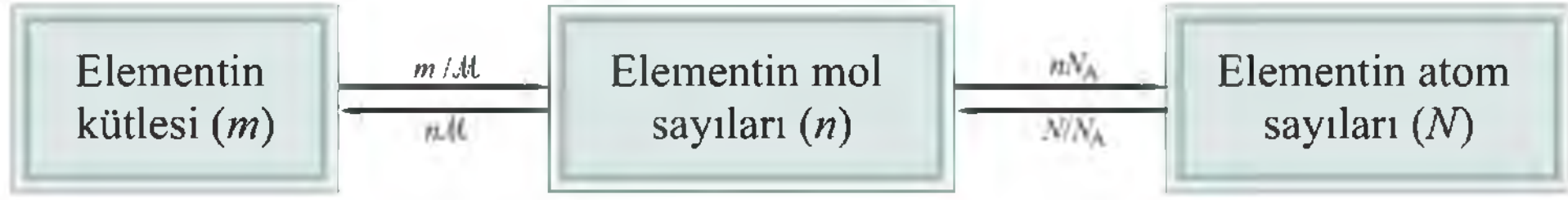
Mol kütlesini ve Avogadro sayısını bilirse, gram cinsinden tek bir atomun kütlesini hesaplayabiliriz. Örneğin, karbon-12'nin mol kütlesinin 12 g olduğunu ve 1 molünde $6,022 \times 10^{23}$ tane karbon-12 atomlarının bulunduğunu biliriz. Bundan dolayı bir karbon-12 atomunun kütlesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{12 \text{ g karbon-12 atomları}}{6,022 \times 10^{23} \text{ tane karbon-12 atomları}} = 1,993 \times 10^{-23} \text{ g}$$

¹Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quaregua e di Cerreto (1776–1856). İtalyan matematik-fizikçidir. Fen bilimlerinde çalışmadan önce uzun yıllar hukukla meşgul oldu. Onun şimdi Avogadro kanunu olarak bilinen bu meşhur çalışması(bölüm 5'e bakınız)o hayatta iken neredeyse yok sayıldı. Ancak, ondo-kuzuncu asrın sonlarında, Avogadro kanunu atom kütlelerinin tayininde temel olarak alındı..

Hesaplamalarda mol (molar) kütle birimleri g/mol veya kg/mol'dür

Elementlerin mol kütleleri kitabın ön kapakğının içinde verilir.



Şekil 3.2 Bir elementin kütlesi (g olarak) ile mol sayıları (n) ve bir elementin mol sayıları (n) atom sayıları (N) arasındaki ilişkiler. M bir elementin mol kütleleridir (g/mol olarak) ve N_A Avogadro sayısıdır.

Yukarıdaki sonucu atomik kütle birimleri ile gramlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanabiliriz. Her karbon-12 atomunun kütlesi tam olarak 12 akb olduğundan, 1 gram'a eşit olan atom kütle birimi (akb) şöyle bulunur:

$$\begin{aligned} \frac{\text{akb}}{\text{gram}} &= \frac{12 \text{ akb}}{1 \text{ karbon-12 atomu}} \times \frac{1 \text{ karbon-12 atomu}}{1,993 \times 10^{-23} \text{ g}} \\ &= 6.022 \times 10^{23} \text{ akb/g} \end{aligned}$$

Böylece,

$$1 \text{ g} = 6.022 \times 10^{23} \text{ akb}$$

ve

$$1 \text{ akb} = 1,661 \times 10^{-24}$$

Bu örnek, atom kütle birimlerini gram cinsinden kütleye çevirmek için Avogadro sayısının kullanılabileceğini gösterir. Bu işlemin terside (g'dan akb'ne) gerçekleştirilebilir.

Avogadro sayısı ve mol kütlenin kullanılması, kütle ile mol ve mol ile atom sayısının birbirlerine dönüştürülmesine imkan sağlar (Şekil 3.2). Hesaplamalarda aşağıdaki çevirme faktörlerini kullanacağız.

$$\frac{1 \text{ mol X}}{\text{X in mol kütlesi}} \quad \text{ve} \quad \frac{1 \text{ mol X}}{6.022 \times 10^{23} \text{ X atomları}}$$

Burada X, herhangi bir elementin sembolünü gösterir. Uygun dönüştürme faktörlerini kullanarak. Örnekler 3.2, 3.3 ve 3.4'de olduğu gibi, bir miktarı diğerine dönüştürebiliriz.

Uygulama yaptıkça Şekil 3.2'deki denklemleri doğrudan kullanabilirsiniz:
 $n = m/M$ ve $N = nN_A$.

Örnek 3.2

Helyum (He) endüstride, düşük sıcaklık araştırmalarında, derin deniz dalış tanklarında ve balonlarda kullanılan değerli bir gazdır. He'un 6.46 gramında kaç mol He vardır?

İzlenecek Yol Bize helyumun gramı verilmekte ve molünü bulmamız istenmektedir. Verilen miktarı(g) mole dönüştürmek için hangi dönüşüm faktörüne ihtiyacımız vardır? Cevabımızda gram birimini sadeleştirip mol birimine çevirmek için uygun dönüşüm faktörünü kullanınız.

Çözüm Mol kütlesi, gram ile molları birbirine dönüştürmek için gerekli olan dönüşüm faktörüdür. Periyodik Çizelgede(kitabın ön kapağının içerisine bakınız) He'un mol kütlesinin 4,003 g olduğu görülmektedir. Bunu aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$1 \text{ mol He} = 4,003 \text{ g He}$$

Bu eşitlikten, iki dönüşüm faktörü yazabiliriz.

$$\frac{1 \text{ mol He}}{4,003 \text{ g He}} \quad \text{ve} \quad \frac{4,003 \text{ g He}}{1 \text{ mol He}}$$

(Devamı)



Bilimsel araştırmada kullanılan bir helyum balonu

Soldaki verilen faktör doğru olanıdır. Cevapta sadece mol kalacak şekilde gramlar sadeleşecektir:

$$6,46 \text{ g He} \times \frac{1 \text{ mol He}}{4,003 \text{ g He}} = 1,61 \text{ mol He}$$

Buna göre, 6,46 gram He'da **1,61 mol** He atomu vardır.

Kontrol Verilen kütle (6,46 g), He'un mol kütlelerinden daha büyük olduğundan, mol miktarının da 1 mol'den daha büyük olması zaten beklenir.

Alıştırma Magnezyumun (Mg) 87,2 gramında kaç mol Mg vardır?

Berzer problem: 3.15.



Çinko.

Örnek 3.3

Çinko (Zn), bakırla ile birlikte pirinç yapımında kullanılan veya korozyonu önlemek için demir yüzeyine kaplama yapımında kullanılan gümüş renkli bir metaldir. 0,356 mol Zn'da kaç g Zn vardır?

İzlenecek Yol Çinkonun gramını bulmayı amaçlıyoruz. O halde, mol miktarını grama dönüştürmek için hangi dönüşüm faktörüne ihtiyacımız vardır? Cevabınızda, molları sadeleştirerek sonuçta gram birimine ulaşacak şekilde uygun dönüşüm faktörünü kullanınız.

Çözüm Gram ile molları birbirine dönüştürmek için gerekli olan dönüşüm faktörü mol kütleleridir. Periyodik Çizelgede (kitabın ön kapağının içine bakınız), Zn'nun mol kütlesinin 65,39 g olduğunu görürüz. Bunu aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$1 \text{ mol Zn} = 65,39 \text{ g Zn}$$

Bu eşitlikten, iki dönüşüm faktörü yazabiliriz.

$$\frac{1 \text{ mol Zn}}{65,39 \text{ g Zn}} \quad \text{ve} \quad \frac{65,39 \text{ g Zn}}{1 \text{ mol Zn}}$$

Sağdaki faktör doğru olanıdır. Cevabınızda, mollar sadeleşerek geriye gram kalacaktır. Zn'nun g miktarı şöyle bulunur:

$$0,356 \text{ mol Zn} \times \frac{65,39 \text{ g Zn}}{1 \text{ mol Zn}} = 23,3 \text{ g Zn}$$

Böylece, Zn'un 0,356 molünde 23,3 g Zn atomu vardır.

Kontrol 0,356 mol Zn için 23,3 g'lık kütle mantıklı görünüyor mu? 1mol Zn'un kütlesi nedir?

Alıştırma Kurşunun (Pb) 12,4 molünde kaç gram Pb vardır?

Berzer problem: 3.16.

Örnek 3.4

Kükürt (S) kömürde bulunan ve metal olmayan bir elementtir. Kömür yakıldığı zaman, kükürt dioksite ve en sonunda asit yağmurlarına neden olan sülfürik aside dönüştürülür. Kükürdün (S) 16,3 gramında kaç tane atom vardır?

İzlenecek Yol Soru kükürt atomlarının sayısını istemektedir. Doğrudan gram S miktarından atom sayısına gidemeyiz. Bu çevirme için hangi birimlere ihtiyaç duyulmaktadır? Avogadro sayısı nedir?

(Devamı)

Çözüm İki dönüştürme ihtiyaç duyarız: birincisi gram-mol dönüştürme ve daha sonra mol-atom sayısı dönüştürme. Birinci basamak Örnek 3.2'ye benzetilebilir. Çünkü,

$$1 \text{ mol S} = 32.07 \text{ g S}$$

dönüştürme faktörü şöyledir:

$$\frac{1 \text{ mol S}}{32.07 \text{ g S}}$$

Avogadro sayısı ikinci basamak için bir anahtardır.

$$1 \text{ mol} = 6.022 \times 10^{23} \text{ tanecik (atom)}$$

Dönüştürme faktörü de aşağıdadır.

$$\frac{6.022 \times 10^{23} \text{ S atomları}}{1 \text{ mol S}} \quad \text{ve} \quad \frac{1 \text{ mol S}}{6.022 \times 10^{23} \text{ S atomları}}$$

Eşitliğin pay kısmında S atomlarının sayısı verildiğinden, ihtiyaç duyduğumuz soldaki faktördür. Önce 16.3 g S'nin mol sayısını hesaplarız ve daha sonra S'nin molünden atom sayısını hesaplayabiliriz.

$$\text{S'nin gramları} \longrightarrow \text{S'nin molları} \longrightarrow \text{S'nin atom sayıları}$$

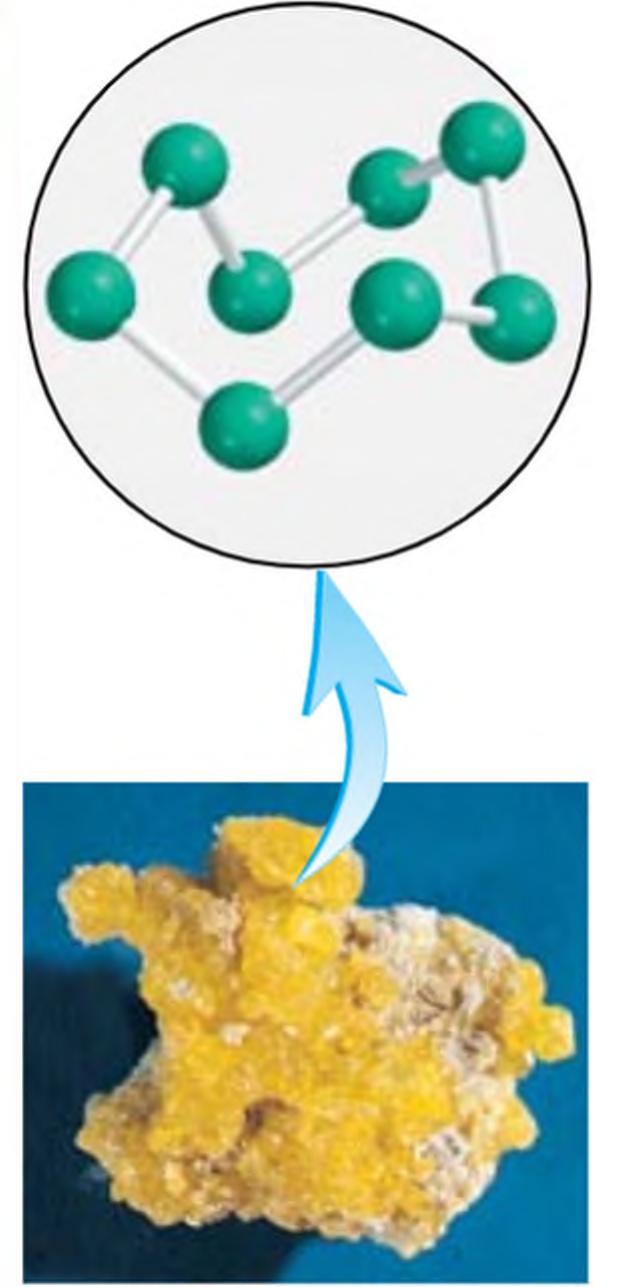
Aşağıdaki gibi bu dönüştürmeleri tek adımda birleştirebiliriz.

$$16.3 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S}}{32.07 \text{ g S}} \times \frac{6.022 \times 10^{23} \text{ S atomları}}{1 \text{ mol S}} = 3.06 \times 10^{23} \text{ S atomları}$$

Buna göre, S'nin 16.3 gramında 3.06×10^{23} tane S atomu vardır.

Kontrol 16,3 g S Avogadro sayısı kadar atomdan daha az atom içermesi gerekir? S'nin hangi kütlesi Avogadro sayısı kadar atom içermelidir?

Alıştırma Potasyumun (K) 0,551 gramında bulunan atomların sayısını hesaplayınız.



Sekiz S atomunun bir halka şeklinde bağlandığı, kükürt elementi (S₈)

Benzer problemler: 3.20, 3.21.

Kavramların Değerlendirilmesi

Kıtabın ön kapağının içindeki periyodik çizelgeye ve Şekil 3.2'ye başvurarak, aşağıda verilenlerden hangisinin en çok atom içerdiğini bulunuz (a) 7,68 g He, (b) 112 g Fe (c) 389 g Hg.

3.3 Molekül Kütlesi

Bileşik içerisindeki atomların kütlelerini bilirsek, molekülün kütlesini de hesaplayabiliriz. **Molekül kütlesi** (bazen *molekül ağırlığı* denilmektedir) *molekül içindeki atomların kütleleri (akb) toplamıdır*. Örneğin, su, H₂O, molekülünün kütlesi;

$$2 (\text{H'nin atom kütlesi}) + \text{O'nun atom kütlesi}$$

$$\text{veya} \quad 2 (1.008 \text{ akb}) + 16.00 \text{ akb} = 18.02 \text{ akb}$$

Genelde, molekül içerisindeki her elementin atom sayısı, atom kütleleri ile çarpılır ve çarpımlar toplanarak molekül kütlesi bulunur. Örneğin 3.5 bu yaklaşımı göstermektedir.

SO₂

Örnek 3.5

Verilen şu bileşiklerin molekül kütlelerini (*akb*) hesaplayınız: (a) asit yağmurlarına neden olan kükürt dioksit (SO₂) gazının ve (b) çay, kahve ve kolalı içeceklerde bulunan, uyarıcı kafein (C₈H₁₀N₄O₂).

İzlenecek Yol Bir molekülün molekül kütlelerini bulmak için farklı atomların atom kütlelerini nasıl birleştirirsiniz?

Çözüm Molekül kütlelerini hesaplamak için, moleküldeki tüm atom kütlelerini toplamamız gerekir. Her bir element için, moleküldeki ilgili elementin atom kütleleriyle atom sayısını çarpıp, Periyodik çizelgeden (kitabın ön kapağının içinde) atom kütlelerini bulabiliriz.

(a) SO₂'de iki O atomu ve bir S atomu vardır, Bundan dolayı

$$\begin{aligned}\text{SO}_2\text{'nin mol kütle} &= 32,07 \text{ akb} + 2 (16,00 \text{ akb}) \\ &= 64,07 \text{ akb}\end{aligned}$$

(b) Kafeinde sekiz karbon C atomu, on H atomu, 4 N atomu ve iki O atomu vardır. Buna göre, C₈H₁₀N₄O₂'nin molekül kütleleri aşağıdaki hesaplanabilir:

$$8(12,01 \text{ akb}) + 10(1,008 \text{ akb}) + 4(14,01 \text{ akb}) + 2(16,00 \text{ akb}) = 194,20 \text{ akb}$$

Alıştırma Metanolün (CH₄O) molekül kütleleri nedir?

Berzer problemler: 3.23, 3.24.

Bir molekülün ya da bileşiğin mol kütlelerini molekül kütlelerinden bulabiliriz. Bir bileşiğin gram cinsinden mol kütleleri akb cinsinden molekül kütlelerine sayısal olarak eşittir. Örneğin, suyun molekül kütleleri 18,02 akb, mol kütleleri ise 18,02 g'dır. 1 mol su 18,02 g olup $6,022 \times 10^{23}$ tane H₂O *molekülü* içerir. Tıpkı, 1 mol karbon elementinin $6,022 \times 10^{23}$ karbon *atomu* içermesi gibi.

Örnek 3.6 ve 3.7 de görüleceği gibi, mol kütleleri verileri, miktarı verilen bir bileşiğin ve her bir atomunun mol sayılarını hesaplayabilmemizi sağlar.

CH₄

Bir ocakta yemek pişirme kva-
mında yanan metan gazı.

Örnek 3.6

Metan (CH₄) doğal gazın ana bileşenidir. 6,07 g CH₄'de kaç mol CH₄ vardır?

İzlenecek Yol Bize CH₄'ün gramı verilmekte ve mol sayısını bulmamız istenmektedir. Mol ile gramı birbirine dönüştürmek için hangi dönüşüm faktörüne ihtiyacınız vardır? Cevabınızda gramları sadeleştirmek ve mole ulaşmak için uygun dönüşüm faktörünü uygulayınız.

Çözüm Gram ve molün birbirine dönüştürülmesinde gerekli olan dönüşüm faktörü mol kütleleridir. Önce, Örnek 3.5'deki yolu izleyerek CH₄'ün mol kütlelerini hesaplamamız gerekir.

$$\begin{aligned}\text{CH}_4\text{'ün molekül kütle} &= 12,01 \text{ akb} + 4 (1,008 \text{ akb}) \\ &= 16,04 \text{ g}\end{aligned}$$

Çünkü

$$1 \text{ mol CH}_4 = 16,04 \text{ g olduğundan,}$$

(Devamı)

Çevirme faktöründe gram miktarının paydada olması, gram birimlerinin birbirini yok etmesi için gereklidir.

$$\frac{1 \text{ mol CH}_4}{16,04 \text{ g CH}_4}$$

Buna göre şöyle yazarız,

$$6,07 \text{ g CH}_4 \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{16,04 \text{ g CH}_4} = 0,378 \text{ mol CH}_4$$

Sonuç olarak CH₄'nın 6,07 gramında 0,378 mol CH₄ vardır.

Kontrol 6,07 g CH₄'ın kütlesi, 1 mol CH₄'ın kütlesinden az mıdır? 1 mol CH₄'ın kütlesi nedir?

Alıştırma 198 gram kloroformun (CHCl₃) mol sayısını hesaplayınız.

Benzer problem: 3.26.

Örnek 3.7

Üre gübre, hayvansal besin ve polimer yapımında kullanılmaktadır 25,6 g üre [(NH₂)₂CO] içerisinde kaç hidrojen atomu vardır?

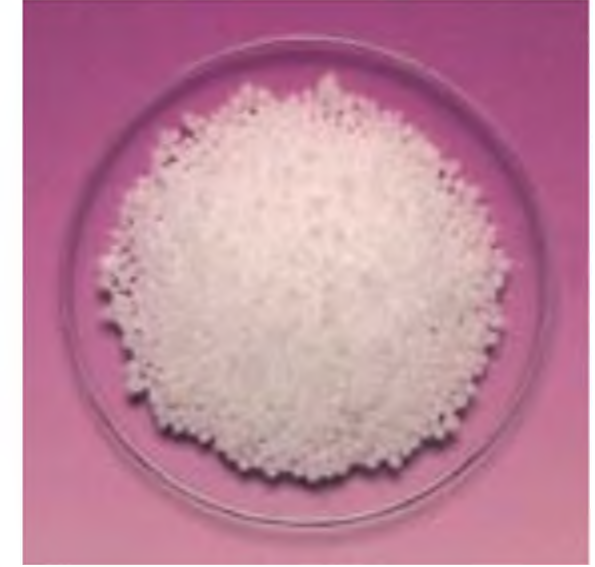
İzlenecek Yol Bizden 25,6 g üredeki hidrojen atomlarının sayısını bulmamız istenmektedir. Doğrudan ürenin verilen gramından hidrojen atomları sayısına geçemeyiz. Peki, bu hesaplamada mol kütlesi ve Avogadro sayısı nasıl kullanılmalıdır? Bir mol ürede kaç mol H vardır?

Çözüm H atomlarının sayısını hesaplamak için, önce ürenin mol kütlesini kullanarak ürenin gramını, molüne dönüştürmeliyiz. Bu kısım örnek 3.2'ye benzerdir. Ürenin molekül formülü, ürenin 1 molünde 4 mol H olduğunu gösterir. Bundan dolayı mol oranı 4:1'dir. Son olarak H atomlarının mol sayısını bilirse, Avogadro sayısını kullanarak H atomlarının sayısını hesaplayabiliriz. Mol kütlesi ve Avogadro sayısı olmak üzere iki dönüştürme faktörüne ihtiyacımız vardır. Bu dönüştürmeleri birleştirebiliriz:

$$\begin{aligned} \text{Ürenin gramı} &\longrightarrow \text{Ürenin molü} \longrightarrow \text{H'nin molü} \longrightarrow \text{H atomları sayısı} \\ 25,6 \text{ g } \cancel{(\text{NH}_2)_2\text{CO}} &\times \frac{1 \text{ mol } \cancel{(\text{NH}_2)_2\text{CO}}}{60,06 \text{ g } \cancel{(\text{NH}_2)_2\text{CO}}} \times \frac{4 \text{ mol H}}{1 \text{ mol } \cancel{(\text{NH}_2)_2\text{CO}}} \times \frac{6,022 \times 10^{23} \text{ H atomları}}{1 \text{ mol H}} \\ &= 1,03 \times 10^{24} \text{ H atomları} \end{aligned}$$

Kontrol Cevap mantıklı görünüyor mu? Ürenin 60,06 gramı kaç tane H atomu içerir?

Alıştırma İzopropanol'ün (C₃H₈O, ispiro alkolü), 72,5 gramında kaç tane H atomu vardır?



Üre

Benzer problemler: 3.27, 3.28.

Son olarak, NaCl ve MgO gibi bağımsız molekül birimi içermeyen iyonik bileşiklerde *formül kütlesi* terimi kullanılır. NaCl formül birimi bir Na⁺ iyonu ve bir Cl⁻ iyonundan oluşmuştur. Böylelikle, NaCl bileşiğinin formül kütlesi:

$$\begin{aligned} \text{NaCl formül kütlesi} &= 22,99 \text{ akb} + 35,45 \text{ akb} \\ &= 58,44 \text{ akb} \end{aligned}$$

Buna göre, NaCl'ün mol kütlesi 58,44 g olur.

Bir Na⁺ iyonu ile bir Cl⁻ iyonunun birleştirilmiş kütlelerinin bir Na atomu ile bir Cl atomunun birleştirilmiş kütlelerine eşit olduğunu dikkat edin.

3.4 Kütle Spektrometresi

Atom ve molekül kütlelerinin en doğru ve en kesin şekilde belirlenmesi kütle spektrometresi ile yapılmaktadır. Şekil 3.3’de kütle spektrometresinin şematik gösterimi verilmiştir. Herhangi bir *Kütle Spektrometresinde*, bir gaz örneği yüksek enerjili elektronlarla bombardıman edilir. Gaz halindeki atomlar veya moleküller ile yüksek enerjili elektronların çarpışması, atom ya da molekülden elektron ayrılması sonucu, pozitif yüklü iyonlar oluşturur. Bu pozitif iyonlar (kütle m ve yük e) iki zıt yüklü plaka arasından geçerken hızlandırılırlar. Oluşan iyonlar manyetik alan tarafından dairesel bir yol şeklinde saptırılır. İzlenen yolun yarıçapı (e/m gibi) yük ile kütle oranına bağlıdır. Küçük e/m oranına sahip iyonlar, büyük e/m oranına sahip iyonlara göre daha geniş dairesel yol izlerler. Böylelikle aynı yüklü, ancak farklı kütleli iyonlar birbirinden ayrılırlar. Sapmanın büyüklüğüne bakılarak, her bir iyonun (ana atom ya da molekül) kütlesi belirlenir. En sonunda, iyonlar her biri için akım kaydeden dedektöre ulaşır. Oluşan akımın miktarı doğrudan iyonların sayısı ile orantılıdır. Bu durum izotopların göreceli bolluğunu bulmamıza yardımcı olur.

İlk kütle spektrometresi 1920 yılında İngiliz fizikçi F.W. Aston¹ tarafından bulunmuştur. Ancak bu cihaz bugünkü durumuna göre çok az duyarlıydı. Buna rağmen neon izotoplarının varlığını göstermiştir. Örneğin, neon-20 için atom kütlesi 19,9924 akb ve doğal izotop bolluğu %90,92, neon-22 atom kütlesi 21.9914 akb ve doğal izotop bolluğu %8,82 olarak bulunmuştur. Daha kapsamlı ve duyarlı spektrometrelerin bulunması ile neon’un üçüncü izotopunun da keşfedilmesi bilim insanlarını şaşırtmış ve bu izotopun atom kütlesinin 20,9940 akb ve doğal bolluğunun %0,257 olduğu ispatlanmıştır (Şekil 13.4). Bu örnek deneysel duyarlılığın kimya gibi incel bilimlerde, ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Eski denemelerde, neon-21 izotopunun varlığı, doğal bolluğu %0,257 gibi az bir miktar olduğu için ölçülememiştir. Bir başka ifade ile 10000 neon atomundan sadece 26 tanesi neon-21’dir. Molekül kütleleri de kütle spektrometresi ile benzer şekilde belirlenmektedir.

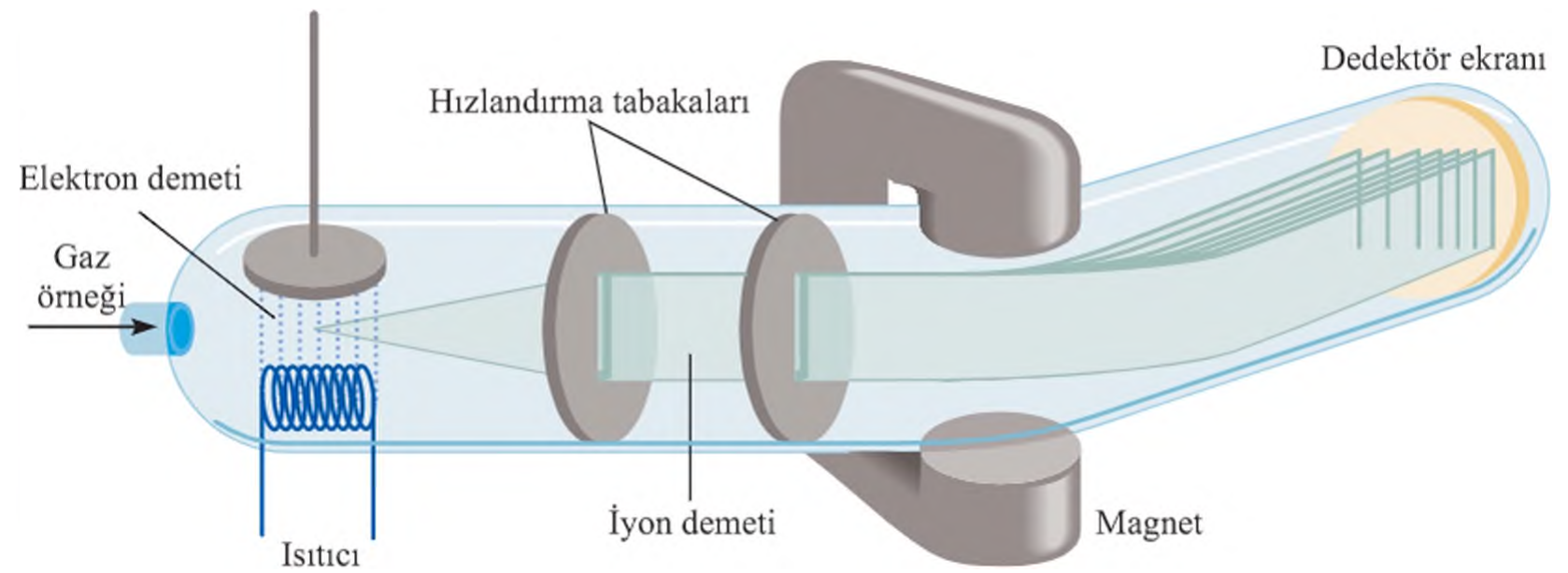
Bir bileşiğin mol kütlesinin, kimyasal formülü bilinmeden de belirlenebileceğine dikkat ediniz.

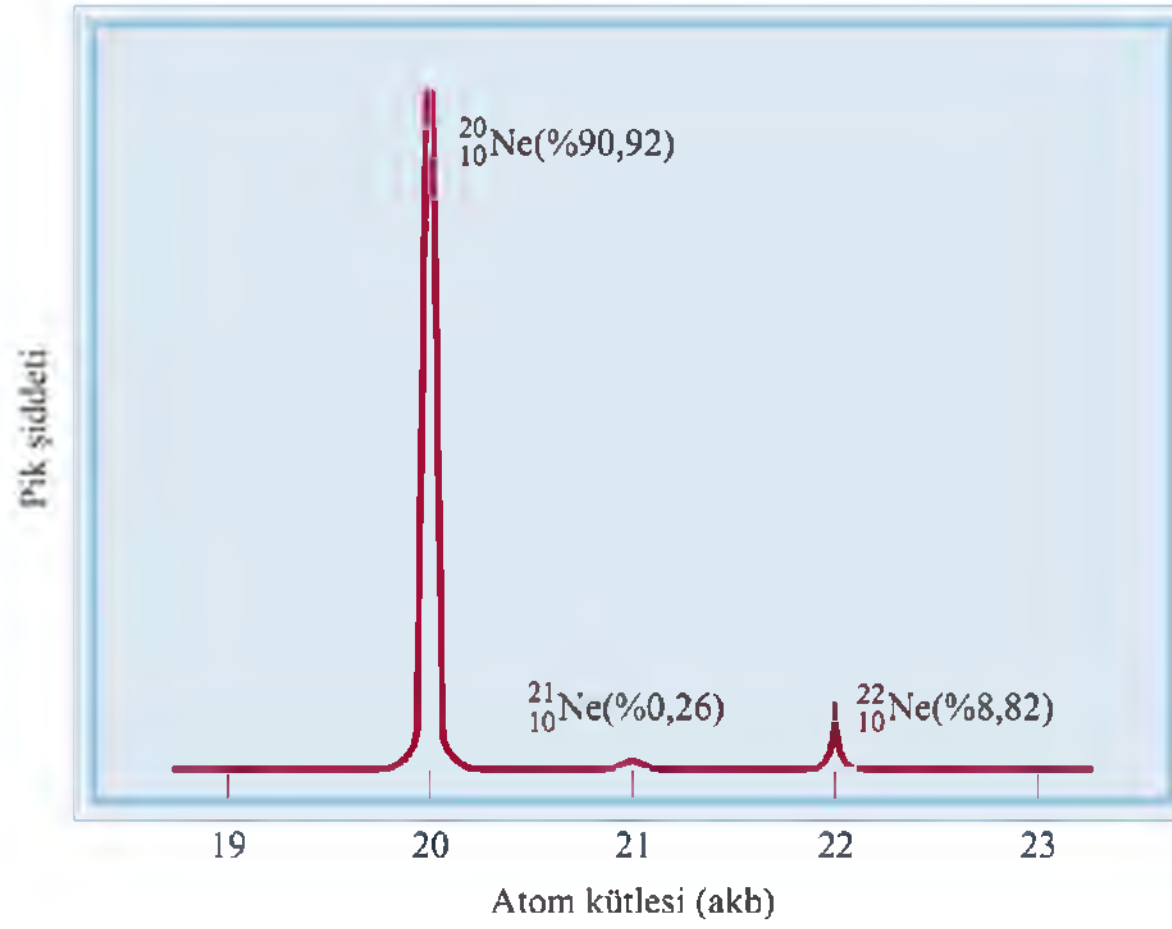
Kavramların Gözden Geçirilmesi

İki kararlı izotopu (^{35}Cl ve ^{37}Cl) bulunan klorun, ortalama atom kütlesinin belirlenmesinde kütle spektrometresi kimyacılar nasıl katkı sağlar? Açıklayınız.

¹Francis William Aston (1877–1945). İngiliz fizikçi ve kimyacıdır. Kütle spektroskopisini geliştirdiği için 1922’de Nobel kimya ödülünü almıştır.

Şekil 3.3 Bir kütle spektrometresinin şematik gösterimi.





Şekil 3.4 Neon'un üç izotopunun kütle spektrumu

3.5 Bileşiklerin Yüzde Bileşimi

Daha önce gördüğümüz gibi, bileşiklerin formüllerine bakarak, içerdikleri elementlerin atom sayılarını bulabiliriz. Şimdi, bir deneyde kullanacağımız bir bileşiğin saflığını öğrenmek istediğimizi varsayalım. Bunun için, laboratuvar koşullarında bir bileşik incelenirken, toplam kütleli oluşturan her bir elementin kütleye yüzde katkısından yararlanarak hesaplama yapmak gerekir. Böylece, elementlerin hesapla bulunan bileşim yüzdeleriyle deneysel olarak bulunan bileşim yüzdeleri ile karşılaştırarak elimizdeki örneğin saflığını belirleyebiliriz.

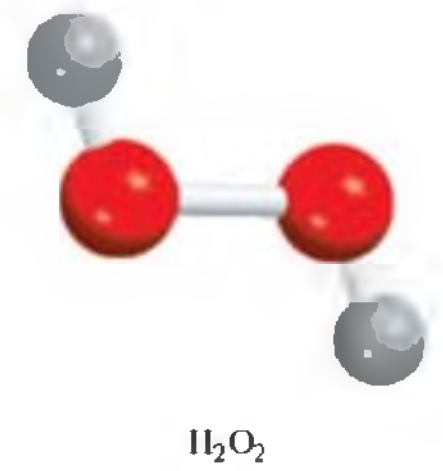
Kütlece yüzde bileşim bir bileşik içerisindeki her elementin kütlece yüzdesidir. Yüzde bileşim her bir elementin kütlesinin bileşiğin bir molünün kütlesine bölünmesi ve bu bölümün 100 ile çarpılmasıyla hesaplanır. Herhangi bir elementin yüzde bileşimi matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{bir elementin yüzde bileşimi} = \frac{n \times \text{elementin mol kütlesi}}{\text{bileşiğin mol kütlesi}} \times \%100 \quad (3.1)$$

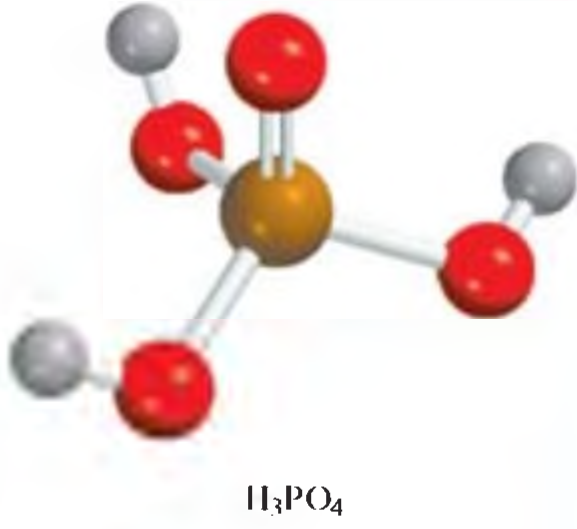
“n” 1 mol bileşik içerisindeki elementin mol sayısıdır. Örneğin, 1 mol hidrojen peroksit (H_2O_2), 2 mol H atomu ve 2 mol O atomu içermektedir. H_2O_2 , H ve O türlerinin mol kütleleri sırasıyla 34,02g, 1,008 g ve 16,00 g'dır. Bu nedenle, H_2O_2 'in yüzde bileşimi şöyle bulunur:

$$\begin{aligned} \%H &= \frac{2 \times 1,008 \text{ g H}}{34,02 \text{ g H}_2\text{O}_2} \times \%100 = \%5,926 \\ \%O &= \frac{2 \times 16,00 \text{ g O}}{34,02 \text{ g H}_2\text{O}_2} \times \%100 = \%94,06 \end{aligned}$$

Yüzdelerin toplamı $\%5,296 + \%94,06 = \%99,99$ eder. Toplamın $\%100$ olmamasının nedeni elementlerin mol kütle değerlerinin yuvarlanmış olmasıdır. Kaba formülü HO olan bir bileşiğin de %H ve %O değerleri yukarıdaki değerler ile aynıdır. Bunun böyle



olmasının nedeni, hem molekül formülünün hem de kaba formülün, bize bileşiğin kütlece yüzdesini göstermesidir.



Örnek 3.8

Fosforik asit (H_3PO_4), deterjanlarda, gübrelerde, diş macununda ve keskin bir koku vermek için karbonatlı içeceklerde kullanılan renksiz şurup kıvamında bir sıvıdır. Bu bileşikte, H, P ve O'nin kütlece yüzdeslerini hesaplayınız.

İzlenecek Yol Kütlece yüzde hesaplama işlemi hatırlayınız. Bizim 1 mol H_3PO_4 'e sahip olduğumuzu kabul ediniz. H, P ve O'nin kütlece yüzdesleri, şu şekilde bulunur: 1 mol H_3PO_4 'deki elementlerin birleşik mol kütleleri, H_3PO_4 'ün mol kütlelerine bölünür ve sonuç 100 ile çarpılır.

Çözüm H_3PO_4 ün molekül kütlesi 97,99 gramdır. H_3PO_4 de her bir elementin kütlece yüzdesi, şu şekilde hesaplanır.

$$\% \text{H} = \frac{3(1,008 \text{ g H})}{97,99 \text{ g H}_3\text{PO}_4} \times \%100 = \%3,086$$

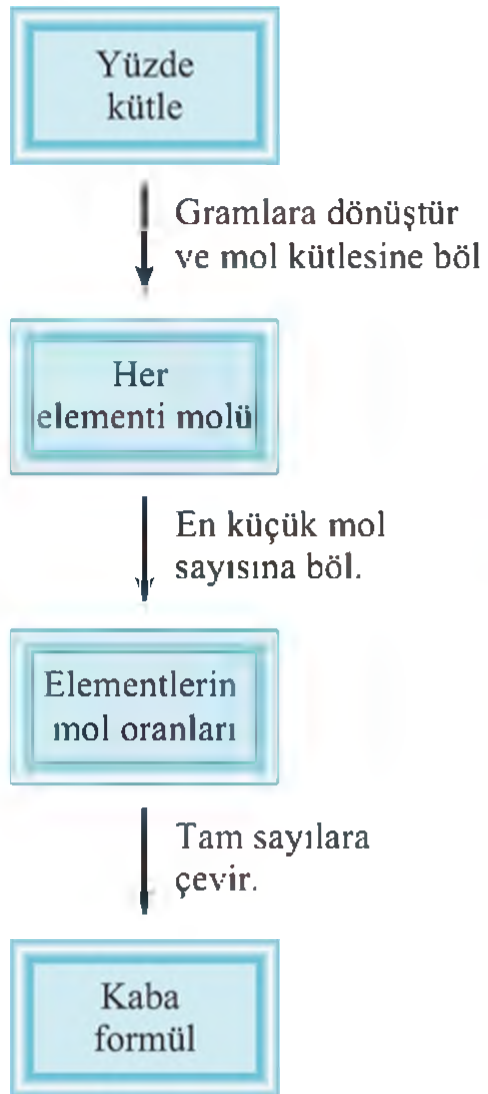
$$\% \text{P} = \frac{30,97 \text{ g P}}{97,99 \text{ g H}_3\text{PO}_4} \times \%100 = \%31,61$$

$$\% \text{O} = \frac{4(16,00 \text{ g O})}{97,99 \text{ g H}_3\text{PO}_4} \times \%100 = \%65,31$$

Kontrol Yüzdesleri toplar mısınız? Yüzdelerin toplamı $\%3,086 + \%31,61 + \%65,31 = \%100,01$ dir. Yüzde 100'den sapan küçük farklılık, sayıları yuvarlanmamızdan kaynaklanır.

Alıştırma Sülfürik asitteki (H_2SO_4), her bir elementin kütlece yüzdeslerini hesaplayınız?

Berzer problem: 3.40.



Şekil 3.5 Bir bileşiğin yüzde bileşiminden kaba formülünün bulunması için akış şeması.

Örnek 3.9

Askorbik asit (C vitamini) deri dökülmesini tedavi eder. C vitamini kütlece $\%40,92$ C, $\%4,58$ H ve $\%54,50$ O'den oluşmuştur. Askorbik asidin kaba formülünü bulunuz.

İzlenecek Yol Kimyasal formüllerdeki alt indis, bileşik içerisindeki elementlerin sayıca mollerini göstermektedir. % bileşenler mol yüzdeslerine nasıl çevrilecektir? Tam 100 g örneğimiz olduğunu varsayarsak, bileşik içerisindeki elementlerin kütlelerini bilmiş olur muyuz? Peki, bu kütle(g) değerlerini daha sonra nasıl mol değerlerine çevirebiliriz?

Çözüm Eğer 100 g askorbik asit olduğunu varsayarsak, her elementin yüzdesi doğrudan gram değerlerine çevrilebilir. Yani 100g örnekte, 40,92 g C, 4,58 g H ve 54,50 g O vardır. Bileşik formüllerindeki alt indis değeri mol oranını verdiğinden, her elementin

(Devamı)

gram değerinin mol değerine dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüştürme için gerekli olan çevirme faktörü her elementin mol kütlesi değeridir. “n” elementin mol sayısı ise

$$\begin{aligned} n_C &= 40,92 \text{ g C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12,01 \text{ g C}} = 3,407 \text{ mol C} \\ n_H &= 4,58 \text{ g H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1,008 \text{ g H}} = 4,54 \text{ mol H} \\ n_O &= 54,50 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16,00 \text{ g O}} = 3,406 \text{ mol O} \end{aligned}$$

Bulunan formül $C_{3,407}H_{4,54}O_{3,406}$ olur. Ancak, kimyasal formüller tam sayılar ile yazıldığından, bu değerlerin tam sayıya dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla, alt indis değerleri kural olarak en küçük indis değerine (3,406) bölünür:

$$C: \frac{3,407}{3,406} \approx 1 \quad H: \frac{4,54}{3,406} = 1,33 \quad O: \frac{3,406}{3,406} = 1$$

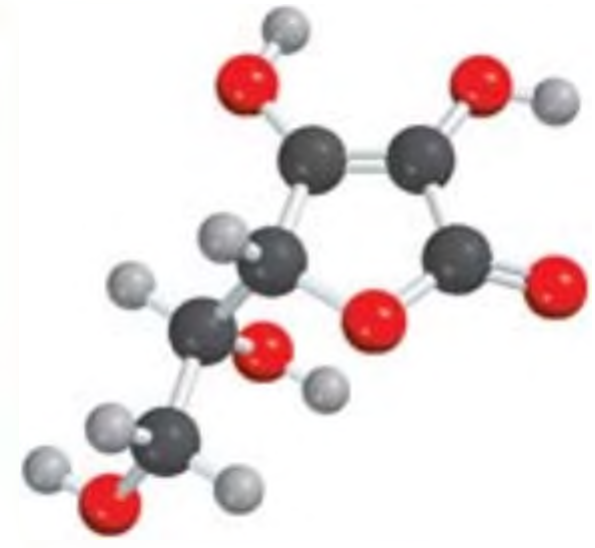
Burada \approx işareti yaklaşık olarak eşit anlamında kullanılmaktadır. Buradan, askorbik asit için $CH_{1,33}O$ kaba formülü bulunur. Ancak, 1,33 değerinin tam sayıya dönüştürülmesi gerekir. Bu da deneme yanılma yöntemi ile gerçekleştirilir.

$$\begin{aligned} 1,33 \times 1 &= 1,33 \\ 1,33 \times 2 &= 2,66 \\ 1,33 \times 3 &= 3,99 \approx 4 \end{aligned}$$

$1,33 \times 3$ bize bir tam sayıyı (4) verdiğinden, tüm indisleri 3 ile çarpalım ve askorbik asit için kaba formülü $C_3H_4O_3$ olarak elde ederiz.

Kontrol $C_3H_4O_3$ 'de indisler en küçük tam sayılara indirgenmiş midir?

Alıştırma Kütlece yüzdeleri: %24,75 K, %34,77 Mn ve % 40,51 O olan bir bileşiğin kaba formülünü bulunuz.



Askorbik asidin molekül formülü $C_6H_8O_6$ 'dir.

Benzer problemler: 3.49, 3.50.

Kimyacılar genellikle belirli bir kütleye sahip bileşikteki elementlerin kesin kütlelerini bilmek isterler. Örneğin maden endüstrisinde, böyle bir bilgi ile madenin kalitesi hakkında bilgi elde ederler. Bir maddedeki elementlerin kütlece yüzde bileşimini kolayca hesaplanabildiğinden, böyle bir problem doğrudan bir yolla çözülebilir.

Örnek 3.10

Kalkopirit ($CuFeS_2$) bakırın esas mineralidir. Kalkopiritin $3,71 \times 10^3$ kg'ında kaç kg Cu bulunduğunu hesaplayınız.

İzlenecek Yol Kalkopirit Cu, Fe ve S elementlerinden oluşmuştur. Bakırın kütlesi bileşik içerisindeki yüzdesine bağlıdır. Elementin kütlece yüzde değeri nasıl hesaplanacaktır?

Çözüm Cu ve $CuFeS_2$ 'nin mol kütleleri sırayla 63,5 g ve 183,5 g'dır. Kütlece % Cu:

$$\begin{aligned} \%Cu &= \frac{\text{Cu'in mol kütlesi}}{\text{CuFeS}_2 \text{ in mol kütlesi}} \times \%100 \\ &= \frac{63,55 \text{ g}}{183,5 \text{ g}} \times \%100 = \%34,63 \end{aligned}$$

71×10^3 kg $CuFeS_2$ örneği içerisindeki bakırın kütlelerini hesaplayabilmek için yüzde değerlerinin kesir değerlerine çevrilmesi gerekmektedir. %34,63 değeri 34,63/100 yani 0,3463 değerine dönüştürülür ve Cu miktarı şöyle hesaplanır:

$$CuFeS_2 \text{ 'deki Cu miktarı} = 0,3463 \times (3,71 \times 10^3 \text{ kg}) = 1,28 \times 10^3 \text{ kg} \quad (\text{Devamı})$$



Kalkopirit.

Kontrol Cu'nun bileşikteki kütlece yüzdesi kabaca % 33 olup, buna göre verilen kütlenin üçte biri yani $\frac{1}{3} \times 3,71 \times 10^3 \text{ kg} \approx 1,24 \times 10^3 \text{ kg}$, kadarı Cu olmalıdır. Bu miktar cevaba yakındır.

Alıştırma 371 g Al_2O_3 'de kaç g Al vardır?

Kavramların Değerlendirilmesi

Detaylı hesaplama yapmaksızın, stronsiyum nitratta [$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$], Sr'un kütlece yüzde bileşiminin O'den daha mı büyük yoksa daha mı küçük olduğunu tahmin ediniz.

3.6 Kaba Formüllerin Deneysel Belirlenmesi

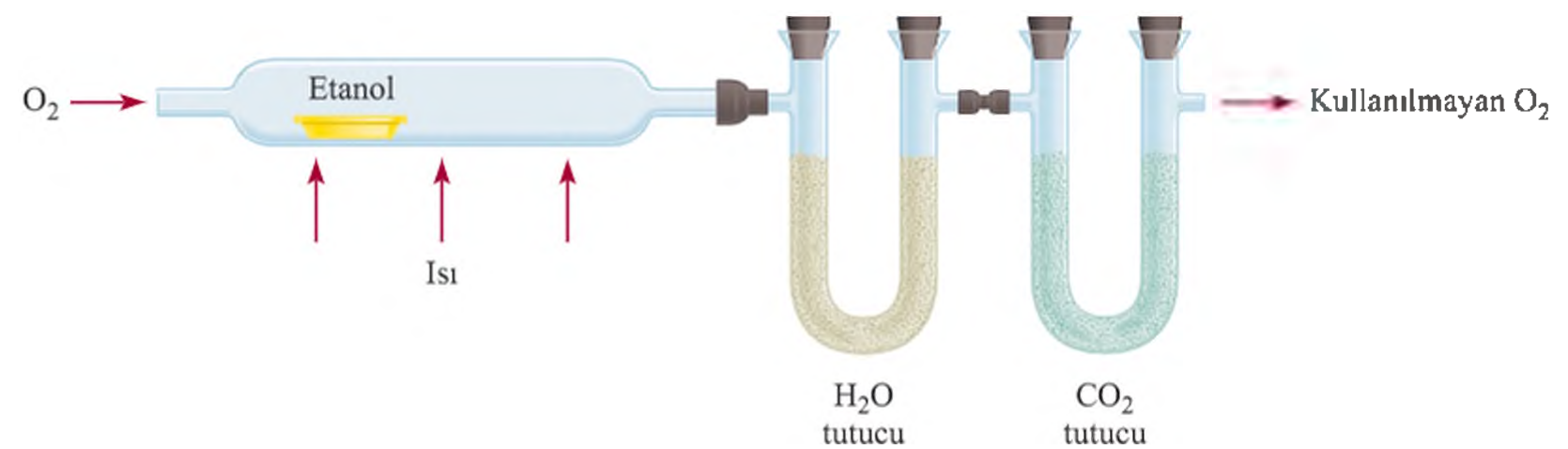
Bir bileşiğin kaba formülünün belirlenebilmesi için, bileşik içerisindeki elementlerin yüzde bileşimlerinin deneysel olarak bulunması gerekir. Bunun için önce, verilen bileşiğin kimyasal analizi yapılır ve her bir elementin gram cinsinden miktarı bulunur. Sonra, gramlar her element için mole çevrilir. Sonuçta, Örnek 3.9'da verildiği gibi, bileşiğin kaba formülü belirlenir.

Etil alkol örneğini ele alalım. Etil alkol (etanol) Şekil 3.6'da verilen düzenekteki gibi yakılırsa, karbon dioksit (CO_2) ve su (H_2O) açığa çıkar. Sisteme gönderilen gazlar içerisinde karbon ve hidrojen bulunmadığına göre, açığa çıkan CO_2 ve H_2O 'daki karbon (C) ve hidrojen (H) etil alkolden gelen elementler olmalıdır. Oksijen de etil alkolden gelebilir (yakma sırasında oksijen molekülü kullanılır, ancak oksijenin bir kısmı etil alkol örneğinden de gelebilir.)

Oluşan CO_2 ve H_2O kütleleri, CO_2 ve H_2O tuzaklayıcılarının kütlelerindeki artış ile belirlenir. Örneğin, 11,5 g etil alkol yakıldığında 22,0 g CO_2 ve 13,5 g H_2O oluştuğunu varsayalım. 11,5 g etil alkol örneği içerisindeki karbon ve hidrojen kütlelerini hesaplayabiliriz.

$$\begin{aligned} \text{C'nin kütlesi} &= 22,0 \text{ g } \text{CO}_2 \times \frac{1 \text{ mol } \text{CO}_2}{44,01 \text{ g } \text{CO}_2} \times \frac{1 \text{ mol C}}{1 \text{ mol } \text{CO}_2} \times \frac{12,01 \text{ g C}}{1 \text{ mol C}} \\ &= 6,00 \text{ g C} \\ \text{H'nin kütlesi} &= 13,5 \text{ g } \text{H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}}{18,02 \text{ g } \text{H}_2\text{O}} \times \frac{2 \text{ mol H}}{1 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}} \times \frac{1,008 \text{ g H}}{1 \text{ mol H}} \\ &= 1,51 \text{ g H} \end{aligned}$$

Şekil 3.6 Etanolün kaba formülünün tayininde kullanılan düzeneğin tutucular (absorplayıcılar) sırasıyla su ve karbon dioksiti tutabilen maddelerdir.



Böylece, 11,5 g etil alkol, 6,00 g karbon ve 1,51 g hidrojen içermektedir. Kalan miktar oksijene ait olup, oksijenin kütlesi:

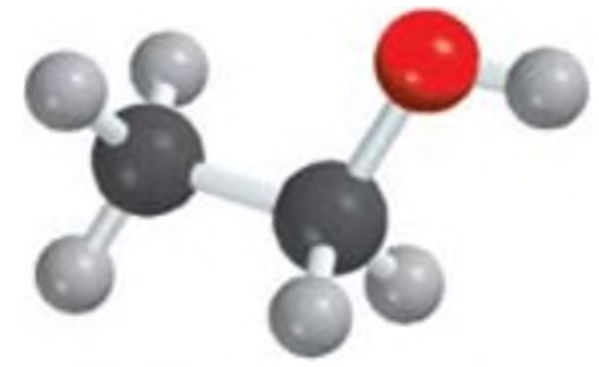
$$\begin{aligned} \text{O'nin kütlesi} &= \text{Örnek kütle} - (\text{C'nun kütlesi} + \text{H'nin kütlesi}) \\ &= 11,5 \text{ g} - (6,00 \text{ g} + 1,51 \text{ g}) \\ &= 4,0 \text{ g} \end{aligned}$$

11,5 g etil alkol içerisindeki elementlerin mol sayıları şöyledir:

$$\begin{aligned} \text{C'nun mol sayısı} &= 6,00 \text{ g C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12,01 \text{ g C}} = 0,500 \text{ mol C} \\ \text{H'nun mol sayısı} &= 1,51 \text{ g H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1,008 \text{ g H}} = 1,50 \text{ mol H} \\ \text{O'nun mol sayısı} &= 4,0 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16,00 \text{ g O}} = 0,25 \text{ mol O} \end{aligned}$$

Buna göre, etil alkolün formülü $\text{C}_{0,50}\text{H}_{1,50}\text{O}_{0,25}$ (mol sayıları iki anlamlı sayıya kadar yuvarlanırsa) olur. Bileşik içerisindeki atom sayılarının tam sayı olması gerektiğinden, tüm alt indisler en küçük değer olan 0,25'e bölünür ve etil alkolün kaba formülü $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ bulunur.

“Kaba” teriminin anlamı gözlem ve ölçüme dayalı demektir. Buna göre, etil alkol bileşenlerine göre analiz edilerek, deneysel olarak kaba formülü belirlenmiştir. Ancak, molekül içerisindeki elementlerin birbirleri ile nasıl bağlandıkları konusu daha sonraki bölümlerde verilecektir.



Etanolün molekül formülü, kaba formülüyle aynıdır.

Molekül Formüllerinin Bulunması

Kütlece yüzde bileşimlerden hesaplanan formül, indisler daima en küçük tam sayıları gösterdiğinden her zaman kaba formüldür. Gerçek molekül formülünü hesaplamak için, kaba formüle ilaveten *yaklaşık* molekül kütlesinide bilmeliyiz. Bir bileşiğin mol kütlesinin, kaba formülüne ait mol kütlesiyle bir tam sayının çarpımı olduğunu bilirsek, Örnek 3.11’de gösterildiği gibi mol kütlesini kullanarak molekül formülünü bulabiliriz.

Örnek 3.11

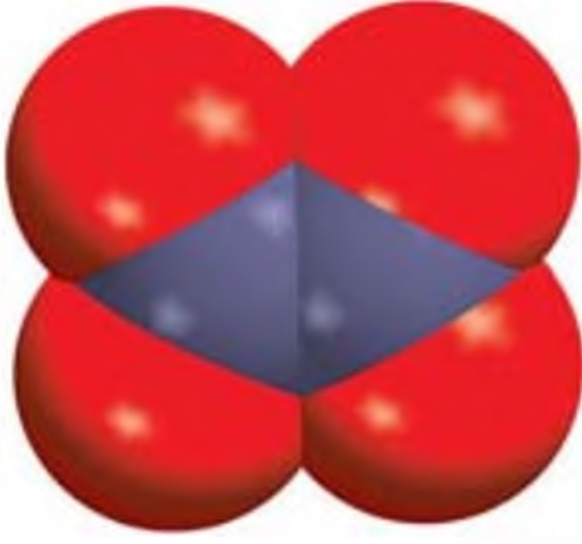
Bir kütle spektrometresi kullanılarak yapılan tayinde, bir bileşik örneğinin kütlesi yüzde 30,46 azot ve yüzde 69,54 oksijen içerdiği bulunmuştur. Ayrı bir denemede, bileşiğin mol kütlesinin 90 g ile 95 g arasında olduğu bulunmuştur. Bileşiğin molekül formülünü ve gerçek mol kütlesini bulunuz.

İzlenecek Yol Molekül formülünü belirlemek için, önce kaba formülü bulmalıyız. Kaba formüle ait mol kütlesiyle, deneysel olarak tayin edilen mol kütlesini karşılaştırarak, ikisi arasındaki bağıntıyı bulabiliriz.

Çözüm Bileşiğin 100 g olduğunu kabul ederek başlarız. Bu durumda her bir yüzde, doğrudan gram olarak düşünülebilir. Başka bir deyişle, 30,46 g N ve 69,54 g O vardır. Her elementin mol sayısı için n kullanalım. Buna göre mol miktarları:

$$\begin{aligned} n_{\text{N}} &= 30,46 \text{ g N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14,01 \text{ g N}} = 2,174 \text{ mol N} \\ n_{\text{O}} &= 69,54 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16,00 \text{ g O}} = 4,346 \text{ mol O} \end{aligned}$$

(Devamı)

N₂O₄

Buradan, mevcut atomların oranını veren formülü, N_{2.174}O_{4.346} olarak buluruz. Ancak, kimyasal formüller tam sayılarla yazılır. İndisleri en küçük indise (2.174) bölerek tam sayıları bulmaya gayret ediniz. Yuvarlamadan sonra, kaba formül olarak NO₂ elde ederiz.

Molekül formülü kaba formülle aynı veya onun tam katları olabilir (örneğin, 2, 3, 4, ... kat kaba formül). Mol kütlelerinin, kaba formülün mol kütlelerine oranının karşılaştırılması, kaba ve molekül formülleri arasındaki bağıntıyı gösterecektir. Kaba formül olan NO₂'nin mol kütlesi aşağıdadır.

$$\text{kaba formül mol kütlesi} = 14,01 \text{ g} + 2 (16,00 \text{ g}) = 46,01 \text{ g}$$

Daha sonra, mol kütlesi ile kaba mol kütlesi arasındaki ilişkiyi belirleriz.

$$\frac{\text{mol kütlesi}}{\text{kaba formül mol kütlesi}} = \frac{90 \text{ g}}{46,01 \text{ g}} \approx 2$$

Mol kütlesi, kaba formül mol kütlelerinin iki katıdır. Bunun anlamı, bileşiğin her molekülünde iki birim NO₂ olduğu, yani molekül formülünün (NO₂)₂ yani N₂O₄ olduğudur.

90 g ile 95 g arasındaki $2 \times (46,01 \text{ g})$ yani 92,02 g, bileşiğin gerçek mol kütlesi olup kaba formül mol kütlelerinin iki katıdır.

Kontrol Kaba formülden molekül formülüne geçerken, bileşiğin sadece *yaklaşık* mol kütlelerini bilmemizin yeterli olduğunu unutmayınız. Bunun sebebi, gerçek mol kütlelerine kaba mol kütlelerini tam sayılarla (1×, 2×, 3×, ...) çarparak ulaşmamızdır. Buna göre, oran(mol kütlesi/kaba mol kütlesi) daima bir tamsayıya yakın olacaktır.

Alıştırma Bor (B) ve hidrojen (H) içeren bir bileşik 6,444 g B ve 1,803 g H içermektedir. Bileşiğin mol kütlesi yaklaşık 30 gramdır. Molekül formülü nedir?

Kavramların Değerlendirilmesi

Yalnızca karbon ve hidrojen içeren bileşiğin 1,05 gramı yakıldığında 3,30 g CO₂ ve 1,35 g H₂O oluşturmaktadır. Bileşiğin mol kütlesi yaklaşık 70 g ise, molekül formülü nedir?

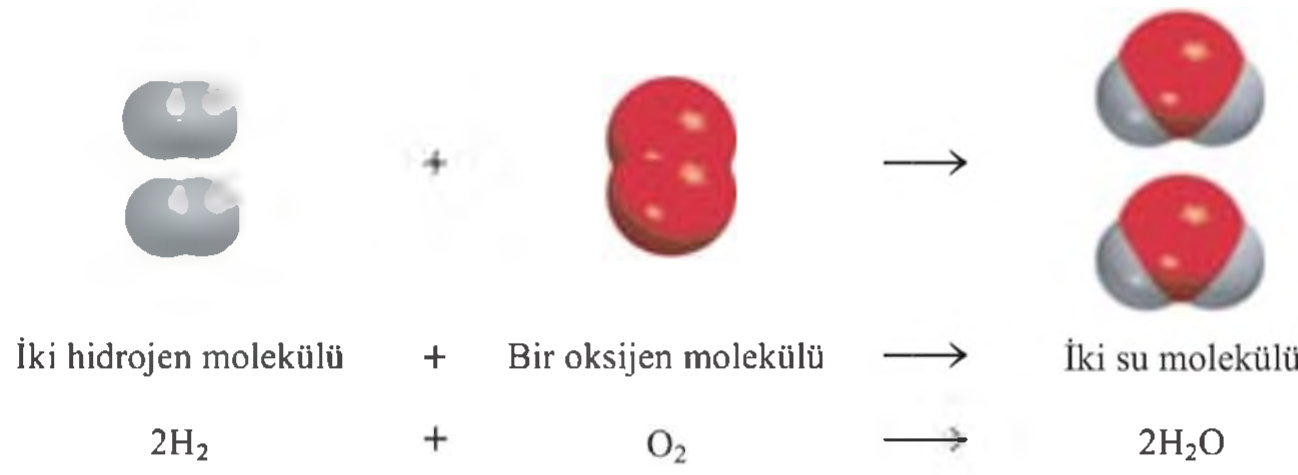
3.7 Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Denklemler

Atom ve molekül kütlelerini öğrendiğimize göre, şimdi *kimyasal tepkimelerde* atom ve moleküllere ne olduğunu araştırabiliriz. **Kimyasal tepkime**, *bileşik ya da bileşiklerin yeni bileşik veya bileşikler oluşturduğu bir işlemdir*. Kimyasal tepkimelerin anlaşılır olabilmesi için, kimyagerler kimyasal eşitlikleri kullanırlar. **Kimyasal eşitlikte**, *kimyasal tepkimelerde ne olduğunu göstermek için kimyasal simgeler kullanılır*. Bu bölümde, kimyasal eşitliklerin yazılmasını ve denkleştirilmesini öğreneceğiz.

Kimyasal Eşitliklerin Yazılması

Hidrojen gazının havada (hava oksijen içermektedir) yanması ve su oluşturmaları sırasında neler olacağını düşünün. Tepkime aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

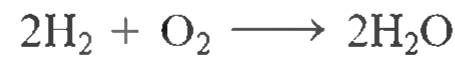




Şekil 3.7 Hidrojenin yanmasını gösteren üç yol. Kütlenin korunumu kanununa göre, her atomun sayısı denklemin her iki tarafında aynı olmalıdır.

Burada “artı” işaretinin anlamı H_2 ve O_2 “tepkimeye girer” demektir. Ok işaretinin anlamı ise bu tepkime “ürün verir” demektir. Bu simgelerin okunuşu “hidrojen molekülü oksijen molekülü ile tepkimeye girerek su oluşturur” şeklindedir. Tepkime ok işaretinin gösterdiği yönde, soldan sağa doğru gerçekleşir.

Eşitlik (3.2) denk değildir, çünkü eşitliğin sol tarafında, sağ tarafa göre bir fazla oksijen atomu bulunmaktadır. Kütlenin korunumu yasasına göre, aynı tür atomların ok işaretinin her iki yanında eşit sayıda bulunması gerekir. Bu nedenle, tepkime başlamadan önceki atom sayıları ile tepkime tamamlandıktan sonraki atom sayılarının aynı olmasını sağlamalıyız. Eşitlik (3.2)’yi *denkleştirmek* için H_2 molekülü ve H_2O molekülü önüne uygun bir sayı (burada 2 sayısı) yazarız.

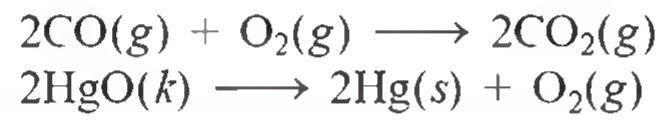


Bu *denkleştirilmiş kimyasal eşitlik* “iki hidrojen molekülünün bir oksijen molekülüyle iki su molekülü oluşturmak üzere tepkimeye girdiğini” gösterir (Şekil 3.7). Molekül sayılarının oranı ile mol sayılarının oranı eşit olduğundan, denklem şu şekilde de okunabilir: “iki mol hidrojen molekülü bir mol oksijen molekülü ile iki mol su molekülü oluşturmak üzere tepkimeye girer.” Her bir maddenin bir molünün kütlesini bildiğinizde göre eşitliği şu şekilde de yorumlayabiliriz: “4,04 g H_2 ile 32 g O_2 , 36,04 g H_2O vermek üzere tepkimeye girer.” Kimyasal eşitliği okumanın üç şekli Çizelge 3.1’de özetlenmektedir.

Eşitlik (3.2)’de verilen tepkimede H_2 ve O_2 *tepkenler* olup, *kimyasal tepkimede çıkış maddeleridir*. H_2O ise *kimyasal tepkime sonucu oluşur ve ürün* adını alır. Kimyasal eşitlikler kimyacıların tepkimeleri açıklamak için kullandıkları kısaltmalardır. Kimyasal eşitliklerde tepkenler ok işaretinin solunda, ürünler ise sağında yazılırlar.



Kimyasal tepkimelerde çoğu kez ek bilgi olarak, tepken ve ürünlerin fiziksel durumlarını gösteren gaz (g), sıvı (s) ve katı (k) sembolleri kullanırlar. Örneğin,



Kimyasal eşitlikleri denkleştirmede rehber olarak, kütlenin korunumu kanununu kullanırsınız

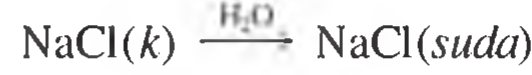
Katsayı 1 olduğu zaman, gösterilmez. (O_2 ’de olduğu gibi)

Kimyasal eşitliği denkleştirmek işlemi 92. Sayfada gösterilmiştir.

Çizelge 3,1 Bir kimyasal tepkimenin yorumlanması

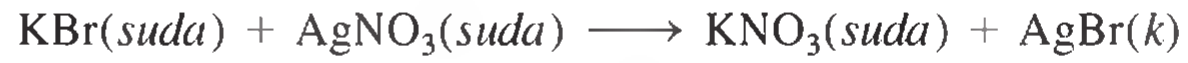
2H_2	+ O_2	$\longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
İki molekül	+ bir molekül	\longrightarrow iki molekül
2 mol	+ 1 mol	\longrightarrow 2 mol
$2(2,02 \text{ g}) = 4,04 \text{ g}$	+ $32,00 \text{ g}$	$\longrightarrow 2(18,02 \text{ g}) = 36,04 \text{ g}$
36,04 g tepken		36,04 g ürün

Bazen tepkimede ne olduğunu göstermek için ok işaretinin üzerine ek bilgiler yazılabilir. Örneğin, NaCl(k) suya ilave edildiğinde aşağıdaki eşitliği yazabiliriz



“suda” su içinde anlamına gelir. Ok işaretinin üzerine H₂O yazılması, “maddenin suda çözüldüğü” anlamında fiziksel bir işlemi gösterdiği halde, basit olması açısından tepkimede pek gösterilmez.

Tepken ve ürünlerin fiziksel hallerinin bilinmesi, laboratuvar çalışmalarında özellikle kullanışlıdır. Örneğin, potasyum bromür (KBr) ve gümüş nitrat (AgNO₃) sulu ortamda tepkimeye girdiğinde, katı gümüş bromür (AgBr) oluşur. Tepkime aşağıdaki denklemle gösterilebilir.



Eğer tepken ve ürünlerin fiziksel halleri belirtilmezse, bu durumdan habersiz bir kişi bu tepkimeyi katı KBr ile katı AgNO₃’den oluşturabileceğini düşünebilir. Halbuki katı haldeki KBr ile AgNO₃ ya çok yavaş şekilde tepkime verecek veya hiç vermeyecektir. Tepkimeyi mikro düzeyde göz önüne alırsak, ürün olarak AgBr’ün oluşması için Ag⁺ ve Br⁻ iyonlarının bir araya gelmeleri gerektiğini anlayabiliriz. Halbuki bu iyonlar katı bileşiklerinde belirli bir konumdadır ve çok az hareketliliğe sahiptirler. (Bu örnek, bölüm 1.2’de tartıştığımız, moleküler düzeyde bir olayı nasıl açıklayabileceğimiz ile ilgilidir.)

Kimyasal Denklemlerin Denkleştirilmesi

Laboratuvarda gerçekleştirdiğimiz bir kimyasal tepkimenin kimyasal eşitliğini yazmak istediğinizi düşünün. Bunu hangi yolla yapabiliriz? Tepkenlerin ne olduğunu baştan bildiğimize göre, onların kimyasal formüllerini de yazabiliriz. Ancak ürünlerin neler olduğunu bilmek daha zordur. Basit bir tepkimede, ürün veya ürünleri genellikle tahmin etmek mümkündür. Üç veya daha çok ürün içeren karmaşık tepkimeler için, kimyacılar bileşiklerin varlığını daha ileri testler yaparak belirlemek zorunda kalabilirler.

Tepken ve ürünler tam olarak belirlendikten sonra, doğru formülleri yazılır. Tepkenler solda, ürünler sağda olmak üzere ok işareti ile uygun şekilde düzenleme yapılır. Yazılan ilk tepkime büyük olasılıkla *denk değildir*. Yani okun her iki tarafındaki atom sayıları eşitlenmiş değildir. Genel olarak, aşağıda gösterilen basamakları takip ederek bir kimyasal denklemi eşitleyebiliriz.

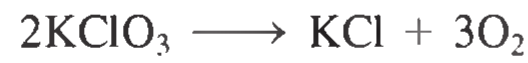
1. Tüm tepken ve ürünleri belirleyiniz ve doğru formüllerini sırayla denklemin soluna ve sağına yazınız.
2. Farklı katsayılar deneyerek, eşitliğin her iki tarafındaki atomların sayılarını denkleştirmeye çalışınız. Eşitlikte katsayılar değiştirilebildiği halde, formüllerin altında indis olarak yazılan sayılar değiştirilemez. Çünkü indis değiştirilirse, başka bir bileşik yazılmış olur. Örneğin, 2NO₂’nin anlamı “iki molekül azot dioksit” demektir, ancak eğer indisleri iki ile çarparsak yapı N₂O₄ olur. Bu ise başka bir bileşik olan diazot tetroksittir. Yani tamamıyla ayrı bir bileşiktir.
3. Kimyasal tepkimeleri denkleştirirken ilk olarak, eşitliğin her iki tarafında yalnızca bir kez yer alan, her iki taraftaki atom sayıları eşit olan elementlere bakınız. Bu elementleri içeren formüllerin katsayıları eşit olmalıdır. Bu elementlerin katsayılarını hemen eşitlemeniz gerekmez. Sonra, eşitliğin her iki tarafında, birer kez yer alan ancak, atom sayıları eşit olmayan elementleri ele alınız ve bu elementleri eşitleyiniz. Son olarak, eşitliğin aynı tarafında iki ya da daha fazla formülde bulunan elementleri denkleştiriniz.

4. Okun her iki tarafında bulunan tüm atomların aynı sayılarda olduklarından emin olmak için denkleştirdiğiniz eşitliği kontrol ediniz.

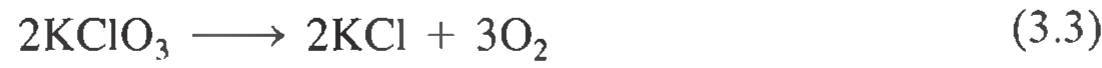
Şimdi, anlatanları bir örneğe uygulayalım. Laboratuvarında potasyum klorat (KClO_3) ısıtıldığında oksijen gazı oluşur. Yani oluşan ürünler oksijen gazı (O_2) ve potasyum klorür (KCl)'dir. Bu bilgilerden yararlanarak, eşitliği yazarsak:



Basitleştirmek için tepken ve ürünlerin fiziksel halleri verilmemiştir. Üç element (K, Cl ve O) eşitliğin her iki yanında da birer kez görünmektedir. Ancak, sadece K ve Cl eşitliğin iki yanında eşit sayıda atom içermektedir. Bu nedenle KClO_3 ve KCl aynı katsayıya sahip olmalıdır. Bir sonraki basamakta, eşitliğin sol tarafında üç oksijen atomu, sağında ise iki oksijen atomu bulunduğundan, "O" atomlarının sayısı eşitliğin her iki tarafında eşitlenmelidir. Bunu sağlamak için KClO_3 'ün önüne 2 ve O_2 'nin önüne 3 yazılarak her iki taraftaki "O" atomları denkleştirilir.



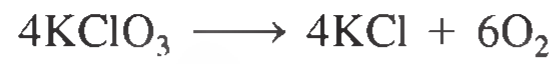
Daha sonra sağ taraftaki, K atomunun önüne 2 yazılarak K ve Cl atomları da denkleştirilmelidir.



Son kontrol olarak, tepken ve ürünlerdeki her bir elementin atom sayılarının parantez içerisinde verildiği bir denkleştirme çizelgesi düzenlenir.

Tepkimeler	Ürünler
K (2)	K (2)
Cl (2)	Cl (2)
O (6)	O (6)

Bu eşitliğin 2'nin diğer katları ile de denkleştirilebileceğini unutmayınız. Örneğin,



Ancak, denklemi denkleştirmede genellikle mümkün olan *en basit* tam sayılar kullanılır. Buna göre en uygun denkleştirme şekli Eşitlik 3.3'tür.

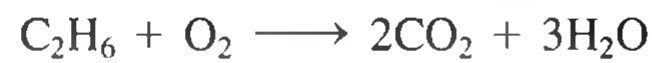
Şimdi, doğal gaz bileşenlerinden etanın (C_2H_6) oksijen ile veya havada yakılarak karbon dioksit (CO_2) ve suyun oluşturulduğu yanma tepkimesini düşünelim. Denk olmayan tepkime şöyledir.



Eşitliğin her iki yanındaki C, H ve O atomlarının sayılarının denk olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, C ve H eşitliğin her iki yanında bir kez yer almakta. O ise sağ tarafta CO_2 ve H_2O de görülmektedir. Öncelikle C atomunu denkleştirmek için, CO_2 önüne 2 yazılır.



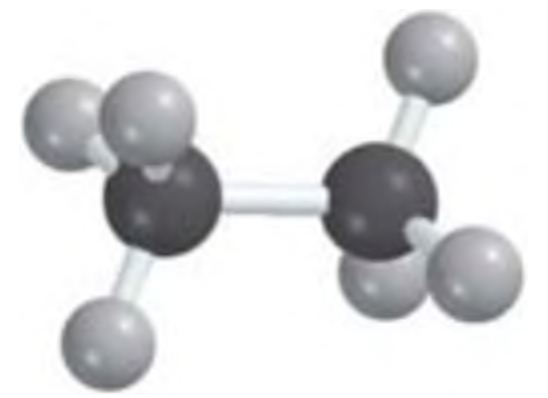
H atomlarını denkleştirmek için ise suyun önüne bu 3 yazılır:



Bu basamakta, C ve H denkleştirilmiştir, ancak O atomu denk değildir. Çünkü denklemin sağ tarafında yedi O atomu, sol tarafında ise sadece iki O atomu bulunmakta-



Potasyum klorat ısıtılırsa, odun kıymığının yanmasını sağlayan oksijeni meydana getirir.



C_2H_6

dır. Oksijen atomlarının eşitliği sol taraftaki O_2 'nin önüne $7/2$ katsayısı yazmakla sağlanabilir:



Bir katsayı olarak $7/2$ 'nin kullanılmasının “mantığı” eşitliğin sağ tarafında 7 oksijen atomunun bulunmasıdır. Buna karşın, sol tarafta yalnızca iki oksijen (O_2) atomu bulunmaktadır. Oksijenleri denkleştirmek için, yedi oksijen atomuna eşit olacak kaç tane oksijen atomu *çifti*(O_2) gereklidir? Benzetme yaparsak, tam olarak 3,5 çift ayakkabı yedi ayakkabıya eşit olduğundan, $7/2$ O_2 molekülü de yedi oksijen atomuna eşit olur. Denkleştirme çizelgesi tekrar düzenlenirse:

Tepkenler	Ürünler
C (2)	C (2)
H (6)	H (6)
O (7)	O (7)

Ancak, normal olarak kesirli katsayılardan ziyade tam sayılı katsayıları tercih ederiz. Bunu sağlamak için, $7/2$ katsayısını 7'ye dönüştürmek için tüm eşitliği 2 ile çarpabiliriz.

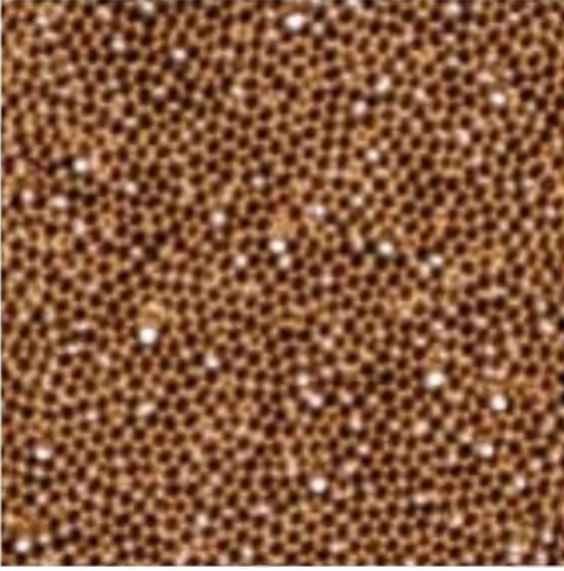


Son olarak denkleştirme çizelgesi şöyle olur:

Tepkenler	Ürünler
C (4)	C (4)
H (12)	H (12)
O (14)	O (14)

En son yazılan eşitliği denkleştirmede kullanılan katsayıların mümkün olan en küçük tam sayılar olduğunu dikkat ediniz.

Kimyasal eşitlikleri denkleştirebilme becerimizin uygulamasına Örnek 3.12 ile devam edelim.



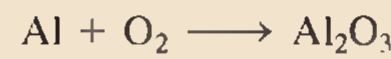
Alüminyum oksit atomik ölçekteki bir görüntüsü.

Örnek 3.12

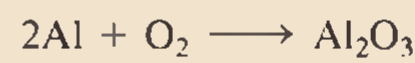
Alüminyum metali hava oksijeni ile temas ederse, yüzeyde koruyucu bir oksit tabakası, yani alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşur. Bu tabaka alüminyumun hava oksijeni ile daha ileri tepkimelerini önler ve bu nedenle gazlı içeceklerin konulduğu alüminyum kutular korozyona (metalik aşınma) uğramazlar. [Demir paslandığında, demir (III) oksit oluşur ve bu oksit gözenekli olduğundan, daha ileri paslanma tepkimelerini önleyemez, paslanma devam eder.]. Al_2O_3 oluşumunun denkleştirilmiş eşitliği yazınız.

İzlenecek Yol Bir kimyasal denklemi denkleştirdiğimiz zaman, element veya bileşiğin formülünün değişmediğini hatırlayınız. Eşitlik, formüllerin önüne uygun katsayıları koyarak denkleştirilir. Sayfa 92’de açıklanan işlem sırasını izleyiniz.

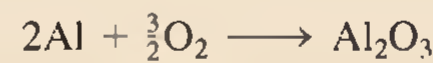
Çözüm Denkleştirilmemiş eşitlik aşağıdadır:



Denkleştirilmiş tepkimede eşitliğin her iki yanındaki atomların türleri ve sayıları eşit olmalıdır. Eşitliğin sol yanında bir Al atomu, ürünler tarafında ise iki Al atomu bulunmaktadır. Al atomları, tepkenler tarafındaki alüminyum önüne 2 katsayısı yazılarak denkleştirilir.

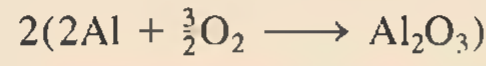


Eşitliğin tepkenler tarafında iki O atomu, ürünler tarafında ise üç O atomu vardır. Tepkenler tarafındaki O_2 'nin önüne $3/2$ katsayısını koymakla O atomlarını denkleştirebiliriz.

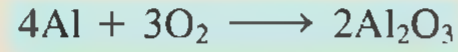


(Devamı)

Bu denkleştirilmiş bir eşitliktir. Ancak, denklemler normal olarak en küçük tam sayılarla denkleştirilir. Eşitliğin her iki tarafı 2 ile çarpılırsa, tam sayılı katsayılar elde edilir.



veya



Kontrol Eşitliğin denk olabilmesi için her iki taraftaki atom sayılarının eşit olması gerekir. Denkleştirme çizelgesi şöyle yazılabilir:

Tepkenler	Ürünler
Al (4)	Al (4)
O (6)	O (6)

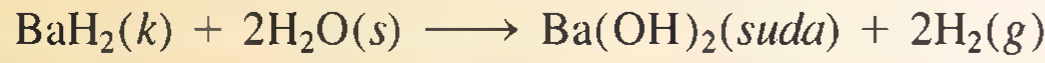
Eşitlik denkleştirilmiştir ve katsayılar en basit tam sayılara indirgenmiştir.

Alıştırma Demir (Fe) ve karbon dioksit (CO₂) oluşturmak üzere tepkimeye giren, demir (III) oksit (Fe₂O₃) ile karbon monoksit (CO) tepkimesini gösteren eşitliği denkleştiriniz.

Benzer problemler: 3.59, 3.60.

Kavramların Değerlendirilmesi

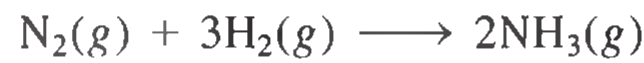
Aşağıdaki denkleştirilmiş bir tepkime için yazılanlardan hangi kısımlar gereklidir? Bu tepkimeyi laboratuvar ortamında gerçekleştirmek istersek, tepkimede yazılanlardan hangi kısımlar bize yardımcı olur?



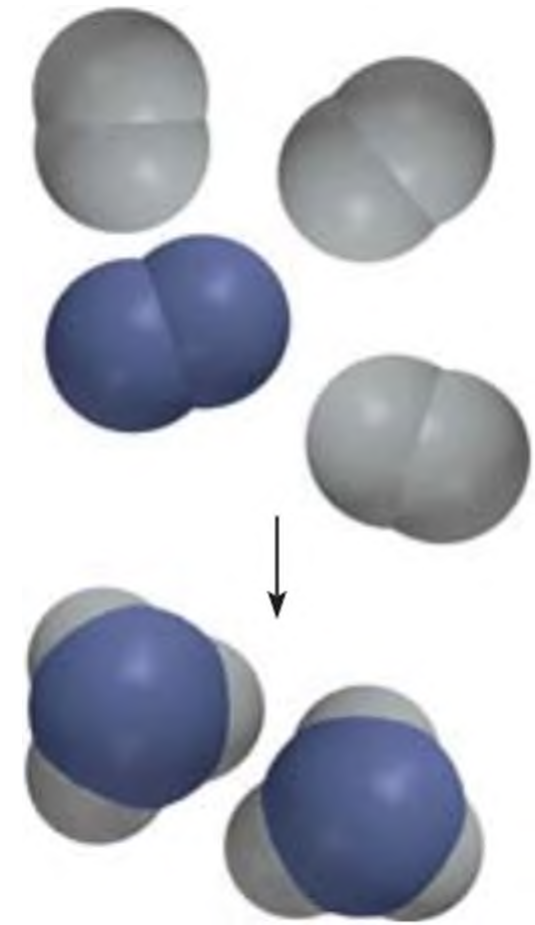
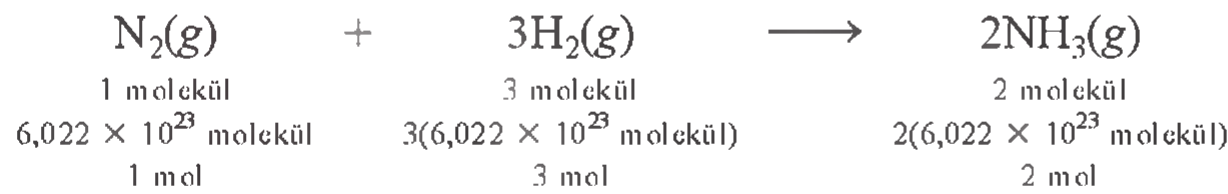
3.8 Tepkenler ve Ürünlerin Miktarları

Laboratuvarlarda sıkça sorulan en temel soru “bilinen miktarlardaki tepkenlerden ne kadar ürün elde edilebileceğidir” Bazı durumlarda bunun tersi de sorulabilmektedir: “bilinen miktarlarda ürün elde edebilmek için ne kadar tepken kullanılmalıdır?” Tepkimeden nicel sonuçlar elde edebilmek için mol kütlesi ve mol kavramlarının kullanılması gerekmektedir. *Bir kimyasal tepkimede tepkenler ve ürünlerin nicel olarak çalışılmasına stokiyometri* denir.

Tepken veya ürünlerin birimleri mol, gram, litre (gazlar için), ya da diğer bazı birimler cinsinden verilse bile, tepkimede ürün miktarlarının hesaplanmasında mol birimi kullanılır. Bu yaklaşıma **mol yöntemi** adı verilir ve *basitçe, bir kimyasal tepkimede katsayılar bileşiklerin mol sayılarını belirtir*. Örneğin, Endüstriyel olarak amonyak aşağıdaki gibi hidrojen ve amonyaktan sentezlenir.



Stokiyometrik katsayılar bir molekül N₂ ile üç molekül H₂'nin iki molekül NH₃ oluşturmak üzere tepkimeye girdiğini gösterir. Tepkimedeki bağıl mol sayıları ile molekül sayıları aynıdır.



N₂ ve H₂ den NH₃'ün sentezi

Bu tepkime şu şekilde okunabilir: “1 mol N_2 gazı 3 mol hidrojen gazı ile birleşerek 2 mol NH_3 gazı oluşturur.” Stokiyometrik hesaplamalarda 3 mol H_2 ’nin, iki mol $2NH_3$ ’e eşdeğer olduğunu söyleyebiliriz. Şöyle ki:



\rightleftharpoons simgesinin anlamı, “stokiyometrik olarak eşdeğer” ya da basitçe “eşdeğer” dir. Buna göre aşağıdaki çevirme faktörleri yazılabilir.

$$\frac{3 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol } NH_3} \quad \text{ve} \quad \frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2}$$

Aynı şekilde, 1 mol $N_2 \rightleftharpoons 2 \text{ mol } NH_3$ ve 1 mol $N_2 \rightleftharpoons 3 \text{ mol } H_2$ diyebiliriz.

6,0 mol H_2 ’nin NH_3 oluşturmak üzere N_2 ile tamamen tepkimeye girdiği, basit bir örneği düşünelim. 6,0 mol H_2 ’den oluşacak olan NH_3 ’ün mol miktarını hesaplamak için, H_2 ’nin paydada olduğu dönüşüm faktörünü kullanırız:

$$\begin{aligned} NH_3 \text{’ün molü} &= 6,0 \text{ mol } H_2 \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2} \\ &= 4,0 \text{ mol } NH_3 \end{aligned}$$

Şimdide 16,0 g H_2 ’nin NH_3 oluşturmak üzere N_2 ile tamamen tepkimeye girdiğini düşünelim. Kaç g NH_3 oluşturulacaktır? Bu hesaplamayı yapabilmek için denkleştirilmiş eşitlikten elde edeceğimiz H_2 ve NH_3 arasındaki mol oranını bilmemiz gerektiğine dikkat ediniz. Bunun için, ilk olarak H_2 ’nin gramını molüne, daha sonra bu molü NH_3 ’ün molüne ve son olarak da NH_3 ’ün gramına dönüştürmemiz gerekir. Dönüşüm adımları aşağıdaki gibidir:



İlk önce H_2 ’nin mol kütlelerini dönüşüm faktörü olarak kullanarak, H_2 ’nin gramını, H_2 ’nin molüne dönüştürürüz.

$$\begin{aligned} H_2 \text{’nin molü} &= 16,0 \text{ g } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2,016 \text{ g } H_2} \\ &= 7,94 \text{ mol } H_2 \end{aligned}$$

Sonra, NH_3 ’ün mol sayısını hesaplarız.

$$\begin{aligned} NH_3 \text{’ün gramı} &= 7,94 \text{ mol } H_2 \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2} \\ &= 5,29 \text{ mol } NH_3 \end{aligned}$$

Daha sonra, dönüşüm faktörünü olarak NH_3 ’ün mol kütlelerini kullanarak, NH_3 ’ün gram cinsinden kütlelerini hesaplarız.

$$\begin{aligned} NH_3 \text{’ün gramı} &= 5,29 \text{ mol } NH_3 \times \frac{17,03 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} \\ &= 90,1 \text{ g } NH_3 \end{aligned}$$

Alternatif olarak, bu üç ayrı basamakta yapılan hesaplamaları aşağıdaki gibi tek bir basamakta da birleştirebiliriz.

$$\begin{aligned} NH_3 \text{’ün gramı} &= 16,0 \text{ g } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2,016 \text{ g } H_2} \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2} \times \frac{17,03 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} \\ &= 90,1 \text{ g } NH_3 \end{aligned}$$



Şekil 3.8 Mol yöntemi kullanarak bir tepkimede tepken veya ürünlerin miktarını hesaplama işlemi.

Benzer şekilde, bu tepkimede tüketilen N_2 'ün kütlesini g olarak hesaplayabiliriz. Dönüşüm kademeleri aşağıdadır.

H_2 'nin gramı $\longrightarrow H_2$ 'nin molü $\longrightarrow N_2$ 'nin molü $\longrightarrow N_2$ 'nin gramı

1 mol $N_2 \rightleftharpoons 3$ mol H_2 bağlantısını kullanarak aşağıdaki bağlantıyı yazarız.

$$N_2 \text{ 'nin gramı} = 16,0 \text{ g } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2,016 \text{ g } H_2} \times \frac{1 \text{ mol } N_2}{3 \text{ mol } H_2} \times \frac{28,02 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2} = 74,1 \text{ g } N_2$$

Stokiyometri problemlerini çözmeniz için genel yaklaşım aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Tepkime için denkleştirilmiş eşitliği yazınız.
2. Verilen tepkenin miktarını (g veya diğer birimlerde) mol sayısına dönüştürünüz.
3. Denkleştirilmiş eşitlikteki mol oranını kullanarak oluşan ürünün mol sayısını hesaplayınız.
4. Oluşan ürünün molünü gramına (veya diğer birimlere) dönüştürünüz.

Şekil 3.8 bu adımları göstermektedir. Bazen bizden bir ürünün belirli bir miktarını elde etmek için gerekli olan tepkenin miktarını hesaplamamız istenir. Bu durumda, Şekil 3.8'de gösterilen adımların tersini uygulayarak çözüme ulaşırız.

Örnek 3.13 ve 3.14'de bu yaklaşım için uygulamalar verilmektedir.

Örnek 3.13

Yediğimiz besinler bozunarak ya da parçalanarak büyümeyi ve vücut fonksiyonları için gerekli enerjiyi sağlarlar. Glukoz ($C_6H_{12}O_6$) bir dizi karmaşık tepkime vererek karbon dioksit (CO_2) ve su (H_2O) oluşturur. Net tepkime:



Eğer bir insan tarafından belirli bir zaman diliminde 856 g $C_6H_{12}O_6$ tüketilirse, oluşan CO_2 kütlesi ne olur?

İzlenecek Yol $C_6H_{12}O_6$ ve oluşan CO_2 'in miktarlarını denkleştirilmiş eşitliğe bakarak nasıl karşılaştırabiliriz? Denkleştirilmiş eşitlikteki *mol oranına* göre karşılaştırabiliriz. $C_6H_{12}O_6$ 'un gramından başlayarak $C_6H_{12}O_6$ 'un molüne nasıl geçeriz? Önce denkleştirilmiş denklemden mol oranını kullanarak CO_2 'in mol sayısı belirlenir. Peki, CO_2 'in gramına nasıl geçebiliriz?

Çözüm Önceki basamakları ve Şekil 3.8'i izleriz.

(Devamı)



$C_6H_{12}O_6$

Adım 1: Problemden denkleştirilmiş eşitlik verilmiştir.

Adım 2: $C_6H_{12}O_6$ 'un gramını $C_6H_{12}O_6$ 'un molüne dönüştürmek için, aşağıdaki işlemi yaparız:

$$856 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180,2 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 4,750 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

Adım 3: Tepkimenin mol oranından, 1 mol $C_6H_{12}O_6 \rightleftharpoons 6 \text{ mol } CO_2$ olduğunu görmekteyiz. Buna göre, oluşan CO_2 'in mol sayısı:

$$4,750 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{6 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} = 28,50 \text{ mol } CO_2$$

Adım 4: Son olarak, oluşan CO_2 'in gramı:

$$28,50 \text{ mol } CO_2 \times \frac{44,01 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 1,25 \times 10^3 \text{ g } CO_2$$

Deneyin kazandıkça yukarıdaki dönüşüm adımlarını.

$C_6H_{12}O_6$ 'un gramı \longrightarrow $C_6H_{12}O_6$ 'un molü \longrightarrow CO_2 'in molü \longrightarrow CO_2 'in gramı

şeklinde, tek bir eşitlikte birleştirebiliriz:

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ 'nin kütlesi} &= 856 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180,2 \text{ g } C_6H_{12}O_6} \times \frac{6 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{44,01 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \\ &= 1,25 \times 10^3 \text{ g } CO_2 \end{aligned}$$

Kontrol Cevap mantıklı görünüyor mu? CO_2 in mol kütlesi $C_6H_{12}O_6$ 'un mol kütlesinden çok daha düşük olmasına rağmen, tepkimede oluşan CO_2 kütlelerinin $C_6H_{12}O_6$ 'den daha fazla olması beklenebilir miydi? CO_2 ile $C_6H_{12}O_6$ arasındaki mol oranı nedir?

Alıştırma Metanol (CH_3OH) aşağıdaki eşitliğe göre havada yanar:



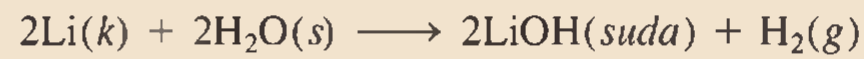
Bir yanma işleminde 209 g metanol tüketilirse, oluşan H_2O 'nun kütlesi nedir?



Hidrojen gazı üretmek için suyla tepkimeye giren lityum.

Örnek 3.14

Alkali metallerin hepsi, hidrojen gazı ve metal hidroksitleri vermek üzere su ile tepkimeye girerler. Böyle bir tepkime, lityum ile su arasında şöyle gerçekleşir:



Buna göre 9,89 g H_2 elde etmek için kaç g Li gereklidir?

İzlenecek Yol Ürünün (H_2) belirli bir miktarını elde etmek için, tepkenin (Li) gram miktarı sorulmaktadır. Buna göre, şekil 3.8'de verilen adımlara tersinden bakmamız gerekir. Verilen kimyasal eşitlikten " $2 \text{ mol } Li \rightleftharpoons 1 \text{ mol } H_2$ " olduğunu görmekteyiz.

Çözüm Dönüşüm adımları aşağıdadır.

H_2 'nin gramı \longrightarrow H_2 'nin molü \longrightarrow Li'un molü \longrightarrow Li'un gramı

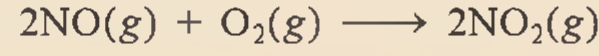
(Devamı)

Bu adımları tek bir eşitlikte birleştirirsek, aşağıdaki işlemi yazarız:

$$9.89 \text{ g-H}_2 \times \frac{1 \text{ mol-H}_2}{2.016 \text{ g-H}_2} \times \frac{2 \text{ mol-Li}}{1 \text{ mol-H}_2} \times \frac{6.941 \text{ g Li}}{1 \text{ mol-Li}} = 68.1 \text{ g Li}$$

Kontrol 9.89 g H₂ kabaca 5 mol H₂'dir. Buna göre 10 mol Li'a ihtiyacımız vardır. Lityumun mol kütlesi yaklaşık 7 g alınırsa, cevap makul olur mu?

Alıştırma Azot monoksit (NO) ve oksijen ile azot dioksit (NO₂) oluşturan tepkime, fotokimyasal duman oluşumunu açıklayan kilit bir tepkimedir.

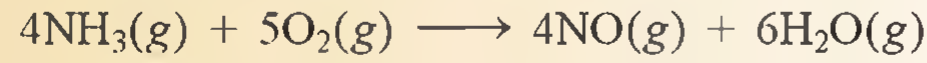


2.21 g NO₂ elde etmek için kaç g O₂ gereklidir?

Benzer problem: 3.66.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki eşitlik için, verilen ifadelerden hangisi doğrudur?



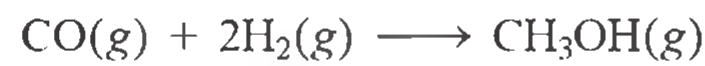
- (a) Tepkimeye giren her 4 g NH₃'dan 6 g H₂O elde edilir.
- (b) 1 mol NH₃'dan 1 mol NO elde edilir.
- (c) Tepkimeye giren her 3 mol O₂'den 2 mol NO elde edilir.

3.9 Sınırlayıcı Tepkenler

Herhangi bir kimyasal tepkimede, tepkenler her zaman **stokiyometrik miktarlarda** verilmeyebilir, ancak tepkenler belirli bir stokiyometrik oranda birleşerek ürün oluştururlar. **Stokiyometrik miktar denkleştirilmiş tepkimede belirtilen oranlar kadardır.** Tepkimenin amacı başlangıç maddelerinden en yüksek miktarda ve verimde bileşikler elde etmektir. Sanayide genellikle daha pahalı olan tepkenin tamamen tepkimeye girmesini sağlamak için, ucuz tepken çok miktarda kullanılır. Bu olayın sonucunda, tepkimede fazla eklenen tepkenler tamamen tükenmezler ve tepkime ortamında artarlar. **Tepkimede tamamen tükenen maddeye ise sınırlayıcı tepken** denir. **Sınırlayıcı tepken** tamamen tükendiğinden, oluşan ürünlerin miktarını belirler. Bu tepken tükendiği zaman artık tepkime olmaz ve ürün oluşması durur. **Aşırı tepken sınırlayıcı tepken ile tepkime verebileceği nicel miktardan fazlasına sahip olan bileşendir.**

Sınırlayıcı tepken olgusu dans yarışmasına katılan kadın ve erkeğe benzetilebilir. Eğer 14 erkek ve sadece 9 kadın varsa, sadece 9 bay/bayan çifti yarışabilir. 5 erkek yalnız kalmıştır. Bu olayda kadın sayısı dans edebilecek erkek sayısını belirlemektedir. yani **sınırlayıcıdır**. Erkek sayısı ise **aşırıdır** ve dans etmeden kalırlar.

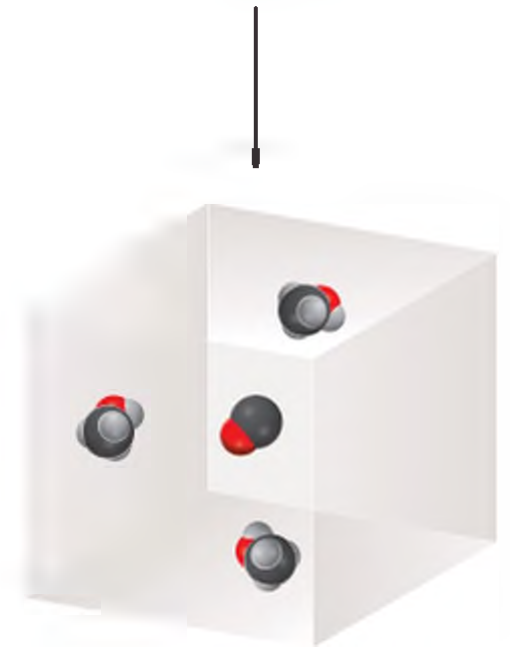
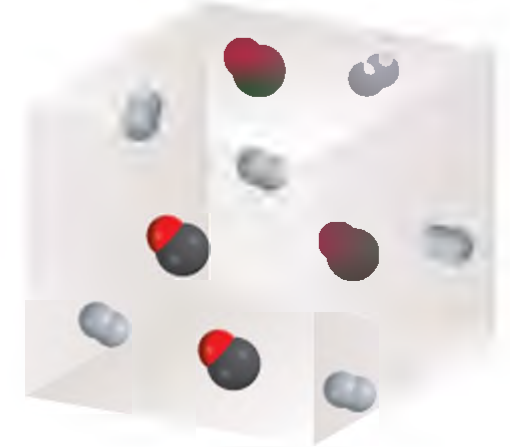
Yüksek sıcaklıklarda karbon monoksit ve hidrojen den metanolün (CH₃OH) endüstriyel sentezini düşümlünüz.



Başlangıçta 4 mol CO ve 6 mol H₂ (Şekil 3.9) olduğunu varsayalım. İki tepkenden hangisinin sınırlayıcı olduğunu belirlemenin bir yolu, CO ve H₂'nin başlangıç miktarlarından elde edilebilecek CH₃OH'ün mol sayısını hesaplamaktır. Daha önce veri-

Animasyon
Sınırlayıcı Tepken

Tepkime başlamadan önce



Tepkime tamamlandıktan sonra



Şekil 3.9 Tepkime başlangıcında, altı H₂ molekülü ve dört CO molekülü vardır. Sonunda, tüm H₂ molekülleri tepkimeye girer ve yalnızca bir CO molekülü kalır. Bundan dolayı, H₂ molekülü sınırlayıcı tepken ve CO aşırı tepkendir. Bu tepkimede her bir molekül bir mol olarak işlem görür.

len tanımdan, sadece sınırlayıcı tepkenden daha az ürünün oluşabileceğini biliyoruz. 4 mol CO ile yola çıkarsak, aşağıdaki CH₃OH mol sayısını buluruz.

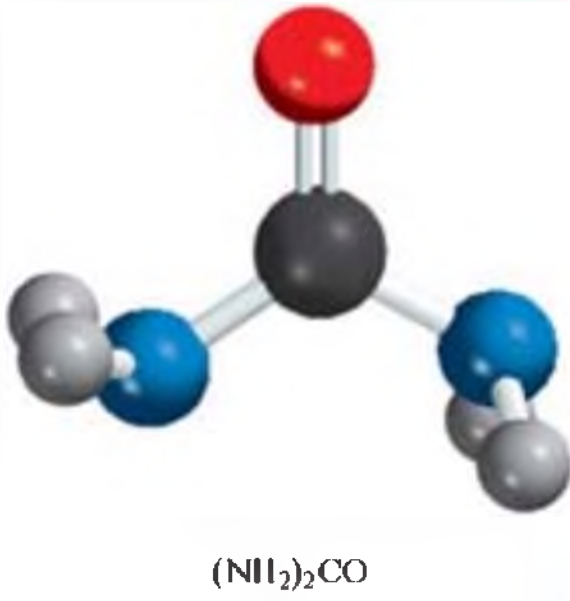
$$4 \text{ mol CO} \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{1 \text{ mol CO}} = 4 \text{ mol CH}_3\text{OH}$$

Eğer 6 mol H₂ ile yola çıkarsak aşağıdaki CH₃OH mol sayısını buluruz.

$$6 \text{ mol H}_2 \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{2 \text{ mol H}_2} = 3 \text{ mol CH}_3\text{OH}$$

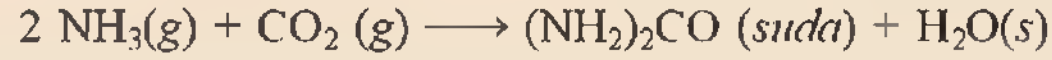
Verilen tepkenlerden H₂ daha az miktarda CH₃OH oluşturduğundan, H₂ sınırlayıcı tepkendir. Buna göre, CO aşırı tepkendir.

Sınırlayıcı tepkenleri içeren stokiometrik hesaplamalarda, ilk adımı hangi tepkenin sınırlayıcı tepken olduğuna karar vermektir. Sınırlayıcı tepken belirlendikten sonra problemin geri kalanı, bölüm 3.8’de gösterildiği gibi çözülebilir. Örnek 3.15 bu yaklaşımın uygulamasını göstermektedir.



Örnek 3.15

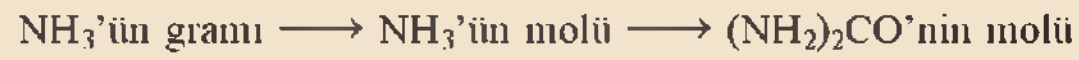
Üre [(NH₂)₂CO] amonyağın karbondioksitle tepkimesinden hazırlanır.



Bir işlemde, 637.2 g NH₃ ile 1142 g CO₂ tepkimeye girmektedir. (a) İki tepkenden hangisi sınırlayıcı tepkendir? (b) Oluşan (NH₂)₂CO’nun kütlelerini hesaplayınız. (c) Tepkime sonunda aşırı tepkenden ne kadar (g olarak) geride kalır?

(a) İzlenecek Yol Oluşabilecek ürünün miktarını sınırladığından, ürünün daha düşük molünü veren tepken sınırlayıcı tepkendir. Tepkenin miktarından ürünün miktara nasıl geçeriz? Her bir tepken için bu hesaplamayı yapınız. Sınırlayıcı tepkeni belirlemek için, NH₃ ve CO₂ için verilen miktarlardan oluşan ürünlerin[(NH₂)₂CO] mollerini karşılaştırınız.

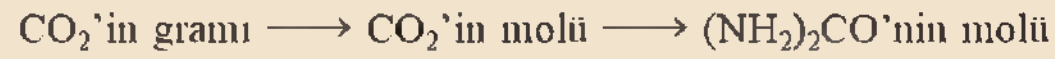
Çözüm İki farklı hesaplama yapılmalıdır. Birincisinde 637.2 g NH₃ miktarından oluşan üre miktarı mol olarak hesaplanır. Bu hesaplamada aşağıdaki çevirme faktörleri kullanılır:



Bu adımları tek bir adımda birleştirirsek, şöyle yazarız.

$$\begin{aligned} (\text{NH}_2)_2\text{CO'nun kütlesi} &= 637.2 \text{ g NH}_3 \times \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17.03 \text{ g NH}_3} \times \frac{1 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO}}{2 \text{ mol NH}_3} \\ &= 18.71 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO} \end{aligned}$$

İkincisi, 1142 g CO₂ için, dönüştürme şöyledir:



Tüm CO₂ tepkimeye girerse oluşabilecek (NH₂)₂CO’nin mol sayısı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} (\text{NH}_2)_2\text{CO'nin kütlesi} &= 1142 \text{ g CO}_2 \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{44.01 \text{ g CO}_2} \times \frac{1 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO}}{1 \text{ mol CO}_2} \\ &= 25.95 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO} \end{aligned}$$

(Devamı)

Bulduğumuz sonuca göre, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 'nin daha küçük miktarını oluşturduğundan, NH_3 sınırlayıcı tepkendir.

(b) İzlenecek Yol NH_3 'ı sınırlayıcı bileşen olarak belirledik ve buna göre $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 'nin mol miktarını bulduk(a). $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 'nin bu molünü grama nasıl dönüştürebiliriz?

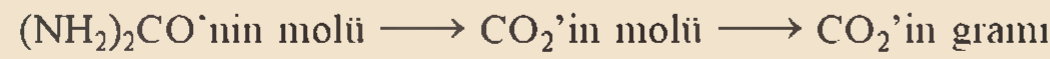
Çözüm $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 'nin mol kütlesi 60,06 gramdır. Mol kütlesini dönüşüm faktörü olarak alırız ve $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 'nin molünü gramına dönüştürürüz.

$$\begin{aligned} (\text{NH}_2)_2\text{CO}'\text{nin kütlesi} &= 18,71 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO} \times \frac{60,06 \text{ g } (\text{NH}_2)_2\text{CO}}{1 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO}} \\ &= 1124 \text{ g } (\text{NH}_2)_2\text{CO} \end{aligned}$$

Kontrol Cevabımız mantıklı görüyor mu? 17,81 mol ürün oluştu. 1 mol $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 'nin kütlesi nedir?

(c) İzlenecek Yol Geriye doğru giderek, 17,81 mol $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ oluşturacak CO_2 'in miktarını belirleyebiliriz. Artan CO_2 miktarı, başlangıç miktarı ile tepkimeye girenin farkıdır.

Çözüm 17,81 mol $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ den başlayarak ve denkleştirilmiş eşitlikteki mol oranını ve CO_2 'in mol kütlesinde kullanarak, CO_2 'in tepkimeye giren kütlesini bulabiliriz.



Buna göre

$$\begin{aligned} \text{tepkimeye giren } \text{CO}_2'\text{in kütlesi} &= 18,71 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CO}_2}{1 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO}} \times \frac{44,01 \text{ g } \text{CO}_2}{1 \text{ mol } \text{CO}_2} \\ &= 823,4 \text{ g } \text{CO}_2 \end{aligned}$$

Geri kalan CO_2 miktarı (aşırı tepken) başlangıç miktar(1142 g) ile tepkimeye giren miktar (823,4 g) arasındaki farktır.

$$\text{Artan } \text{CO}_2'\text{in kütlesi} = 1142 \text{ g} - 823,4 \text{ g} = 319 \text{ g}$$

Alıştırma Alüminyum ve demir (III) oksit arasındaki tepkime yaklaşık 3000°C 'de gerçekleşir ve metal kaynak işleminde kullanılır.



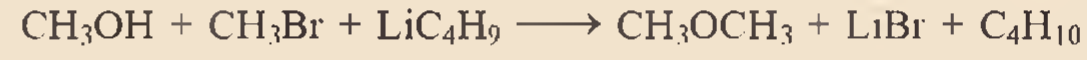
Bir işlemden, 124 g Al ile 601 g Fe_2O_3 tepkimeye sokulmaktadır. (a) Oluşan Al_2O_3 'in kütlesini (g olarak) hesaplayınız. (b) Tepkime sonunda geri kalan aşırı tepken hangisidir?

Benzer problem: 3.86.

Örnek 3.15 önemli bir noktayı belirtmektedir. Pratikte, kimyacılar genellikle daha pahalı kimyasal maddeyi sınırlayıcı tepken olarak seçerler ve onun hepsi veya çoğu tepkimede ürünlere dönüştürülecektir. Üre sentezinde, NH_3 daima sınırlayıcı tepkendir, çünkü CO_2 'e göre daha pahalıdır. Başka durumlarda, aşırı reaktif tepkimenin tamamlanması ya da yan tepkimeleri karşılamak için kullanılır. Örnek 3.16'da gösterildiği gibi sentezle uğraşan kimyacılar sık sık aşırı miktarlarda bulunan bir veya daha çok bileşenin miktarlarını buna göre hesaplamak zorundadır.

Örnek 3.16

Eterleri oluşturmak için alkollerle halojen bileşikleri arasındaki tepkime organik kimyada önemlidir. Aşağıda verilen tepkime, dimetileteri (CH_3OCH_3) oluşturmak için metanol (CH_3OH) ve metil bromür (CH_3Br) arasında gerçekleşmektedir. Dimetil eter diğer organik bileşiklerin ve aerosol püskürtücülerin sentezi için önemli bir öncü reaktiftir.



Bu tepkime su içermeyen bir organik çözücüde gerçekleşir ve butil lityum (LiC_4H_9) bileşiği CH_3OH 'den hidrojen iyonunu uzaklaştırma görevi görür. Butil lityum, çözücüde olabilecek olan su ile tepkimeye girer ve suyu uzaklaştırır. Bu yüzden tepkime, Örneğin 2,5 mol aşırı LiC_4H_9 reaktifi ile gerçekleştirilir. Yukarıdaki tepkimeyi 10 g CH_3OH ile gerçekleştirmek için LiC_4H_9 ve CH_3Br 'den kaç grama gereklidir?

Çözüm Problem çözümüne, CH_3OH ve CH_3Br 'ün stokiyometrik miktarlarda mevcut olduğu ve LiC_4H_9 'ün aşırı reaktif olduğu bilgisiyle başlarız. Gerekli LiC_4H_9 ve CH_3Br 'ün miktarlarını hesaplamak için, Örnek 3.14'de gösterildiği gibi işlem yaparız.

$$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{Br}'\text{ün gramı} &= 10,0 \text{ g } \text{CH}_3\text{OH} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{OH}}{32,04 \text{ g } \text{CH}_3\text{OH}} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{Br}}{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{OH}} \times \frac{94,93 \text{ g } \text{CH}_3\text{Br}}{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{Br}} \\ &= 29,6 \text{ g } \text{CH}_3\text{Br} \end{aligned}$$

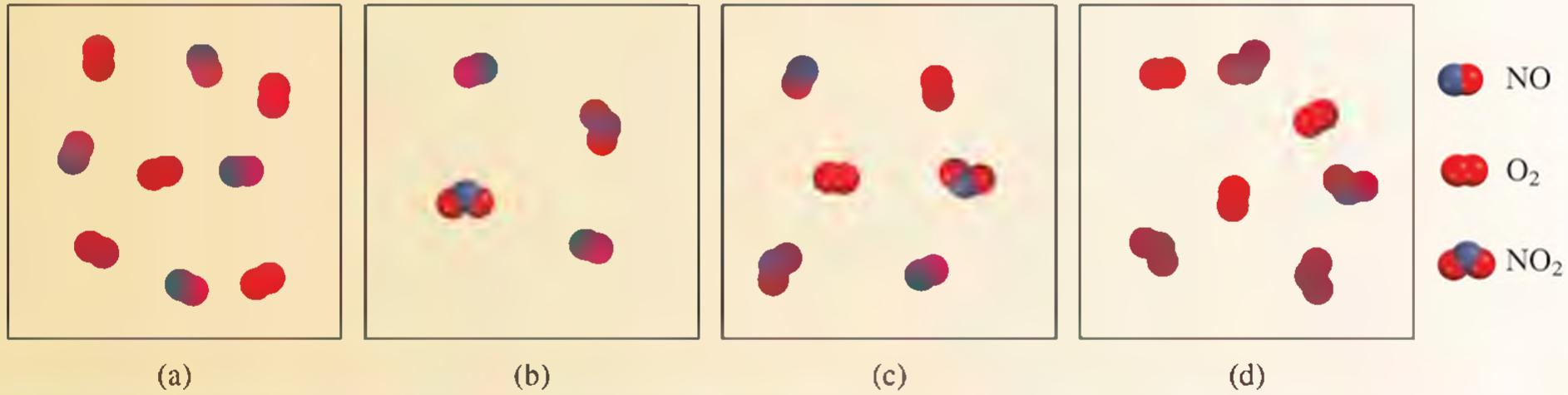
$$\begin{aligned} \text{LiC}_4\text{H}_9 \text{ 'ün gramı} &= 10,0 \text{ g } \text{CH}_3\text{OH} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{OH}}{32,04 \text{ g } \text{CH}_3\text{OH}} \times \frac{2,5 \text{ mol } \text{LiC}_4\text{H}_9}{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{OH}} \times \frac{64,05 \text{ g } \text{LiC}_4\text{H}_9}{1 \text{ mol } \text{LiC}_4\text{H}_9} \\ &= 50,0 \text{ g } \text{LiC}_4\text{H}_9 \end{aligned}$$

Benzer problemler: 3.137, 3.138.

Alıştırma Oktıl benzoat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOC}_8\text{H}_{17}$) ve suyun oluşumuna neden olan benzoik asit ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) ve oktanol ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$) arasındaki tepkimeye, tepkimenin tamlanmasını ve en fazla ürün eldesini sağlamak için aşırı $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$ ile başlanır. Bir organik kimyacının 1,5 mol $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$ ile başladığı tepkimede, 15,7 g $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ için $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$ 'ın kaç gramını kullanması gerekir?

**Kavramların Değerlendirilmesi**

Şekil (a)'daki gaz halinde gösterilen tepkenlerden başlayarak, tepkime için bir eşitlik yazınız. (b) – (d) arasında verilen durumlardan hangisinin sınırlayıcı bileşenle birlikte tepkimeyi gösterdiğini belirleyiniz.



3.10 Tepkime Verimi

Bir tepkimenin *kuramsal verimini* sınırlayıcı tepken belirler. *Kuramsal verim*, *sınırlayıcı tepkenin tümüyle kullanılması halinde oluşabilecek ürün miktarıdır*. Kuramsal verim, elde edilebilecek en *yüksek* verim olup, denkleştirilmiş tepkimeden sayısal olarak hesaplanabilir. Uygulamada ise *gerçek verim* kullanılır ve *gerçek verim tepkime sonunda gerçekten oluşan ürün miktarıdır*. Gerçek verim daima kuramsal verimden küçüktür. Bunun farklı nedenleri vardır. Örneğin, birçok tepkime tersinirdir ve soldan sağa %100 verimle gidemez. Tepkime %100 olsa bile, ürünlerin tamamının tepkime ortamından alınması çok zordur (örneğin sulu çözeltiden). Bazı tepkimeler karmaşıktır ve oluşan ürünler kendi aralarında başka bir tepkime verebilirler, bu da istenilen tepkime verimini düşürür.

Kimyacılar bir tepkimenin verimini, *gerçek verimi kuramsal verime oranlayarak* hesaplarlar ve buna *yüzde verim* denir. Yüzde verim şöyle hesaplanır:

$$\% \text{Verim} = \frac{\text{gerçek verim}}{\text{kuramsal verim}} \times \%100 \quad (3.4)$$

Yüzde verim %1 ile %100 arasında değişebilir. Kimyacının amacı her zaman tepkime verimini artırmaya çalışmaktır. Basınç ve sıcaklık tepkime verimini önemli oranda etkiler. Bu etkiler daha sonra anlatılacaktır.

Örnek 3.17’de, endüstriyel işlemlerde verim hesabını göreceğiz.

Örnek 3.17

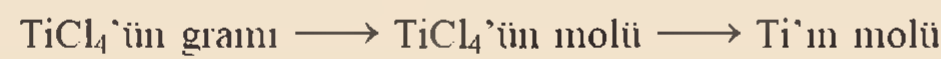
Titanyum roket, hava araçları, jet motorları ve bisiklet gövdeleri gibi yerlerde kullanılan güçlü, hafif ve korozyona dayanıklı bir metaldir. Titanyum, 950°C ile 1150°C arasında titanyum (IV) klorürün eritilmiş magnezyumun ile tepkimesinden elde edilir:



Bir endüstriyel işlemde $3,54 \times 10^7$ g TiCl_4 ile $1,13 \times 10^7$ g Mg tepkimeye sokulur. (a) Ti’nin kuramsal verimini gram olarak hesaplayınız. (b) Deneysel olarak gerçekte $7,91 \times 10^6$ g Ti elde edilmiş ise, yüzde verimi hesaplayınız

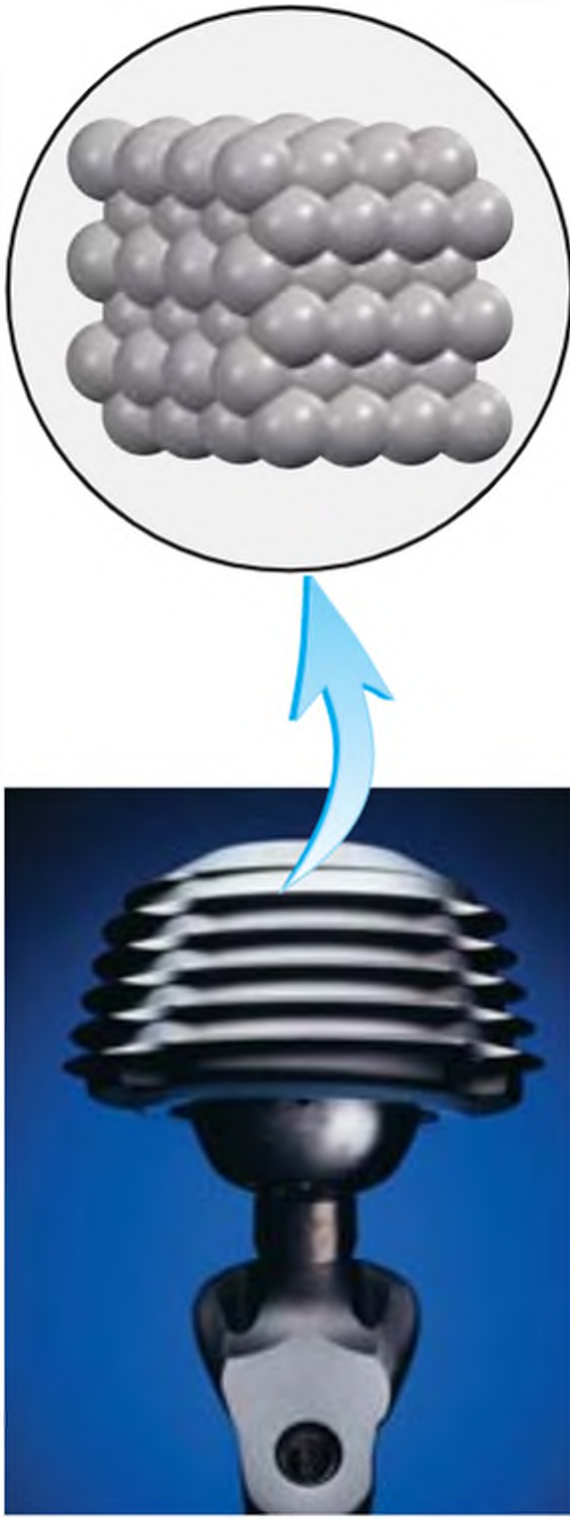
(a) İzlenecek Yol İki tepken olduğundan dolayı, bu işlem muhtemelen bir sınırlayıcı reaktif problemi olmalıdır. Ürünün daha az molünü oluşturan tepken sınırlayıcı tepkendir. Her bir tepken için bu hesabı yapınız, sonra oluşabilecek Ti ürünün mollerini karşılaştırınız.

Çözüm İki tepkenden hangisinin sınırlayıcı tepken olduğunu görmek için iki ayrı hesaplama yapınız. Birincisi, $3,54 \times 10^7$ g TiCl_4 ile başlayarak, TiCl_4 ’ün hepsi tepkimeye girdiğinde oluşabilecek Ti’nin mol sayısını hesaplayınız. Dönüşüm şöyledir:



(Devamı)

Unutmayınız ki kuramsal verim denkleştirilmiş eşlitten hesapladığınız verimdir. Gerçek verim ise gerçekte tepkimenin oluşturduğu verimdir.



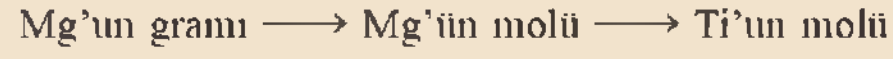
Titanyumdan yapılmış yapay bir kalça kemiği ve katı titanyumun yapısı

Berzer problemler: 3.89, 3.90.

Buna göre,

$$\begin{aligned} \text{T'nin molü} &= 3,54 \times 10^7 \text{ g TiCl}_4 \times \frac{1 \text{ mol TiCl}_4}{189,7 \text{ g TiCl}_4} \times \frac{1 \text{ mol Ti}}{1 \text{ mol TiCl}_4} \\ &= 1,87 \times 10^5 \text{ mol Ti} \end{aligned}$$

Daha sonra, $1,13 \times 10^7 \text{ g Mg}$ 'dan oluşabilecek Ti'un mol sayısını hesaplayınız. Dönüşüm şöyledir:



Buna göre,

$$\begin{aligned} \text{Ti'nin kütlesi} &= 1,13 \times 10^7 \text{ g Mg} \times \frac{1 \text{ mol Mg}}{24,31 \text{ g Mg}} \times \frac{1 \text{ mol Ti}}{2 \text{ mol Mg}} \\ &= 2,32 \times 10^5 \text{ mol Ti} \end{aligned}$$

Daha küçük miktarda Ti oluşturduğundan, TiCl_4 sınırlayıcı tepkendir. Buna göre oluşan Ti'un kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$1,87 \times 10^5 \text{ mol Ti} \times \frac{47,88 \text{ g Ti}}{1 \text{ mol Ti}} = 8,95 \times 10^6 \text{ g Ti}$$

(b) İzlenecek Yol Yukarıda (a kısmında) belirtilen Ti'un kütlesi, kuramsal verimdir. Problemin (b) şıkında verilen miktar ise, tepkimenin gerçek verimdir.

Çözüm Yüzde verim aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \% \text{verim} &= \frac{\text{gerçek verim}}{\text{kuramsal verim}} \times \%100 \\ &= \frac{7,91 \times 10^6 \text{ g}}{8,95 \times 10^6 \text{ g}} \times \%100 \\ &= \%88,4 \end{aligned}$$

Kontrol Yüzde verimin, yüzde 100'den daha küçük olması gerçekten beklenir miydi?

Alıştırma Sanayide çelik alaşımında kullanılan vandyum (V) metali, yüksek sıcaklıkta vanadyum (V) oksitle kalsiyumun tepkimesinden elde edilebilir.



Bir işlemde, $1,54 \times 10^3 \text{ g V}_2\text{O}_5$ ile, $1,96 \times 10^3 \text{ g Ca}$ tepkimeye girmektedir. (a) V'un kuramsal verimini hesaplayınız. (b) Elde edilen V miktarı 803 g ise, yüzde verimi hesaplayınız.

Endüstride elde edilen ürünler binlerce yada milyonlarca ton gibi çok büyük ölçekte dirler. Bunun için, verimde elde edilecek çok küçük bir artış bile, üretim maliyetini önemli oranda düşürür. Bu durumu, s.105'de "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasında, kimyasal gübre üretimi konusunda ele alınmıştır.

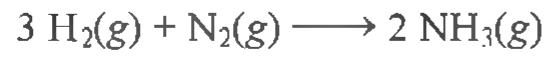
Kavramların Değerlendirilmesi

Yüzde verim bir tepkimenin kuramsal veriminininden daha fazla olabilir mi?

Kimyasal gübreler

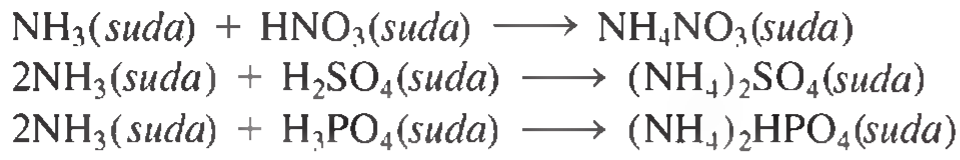
Dünyanın hızla artan nüfusunu beslemek için, üreticilerin daha büyük ölçekte ve daha sağlıklı mahsülleri üretmeleri gerekmektedir. Bu amaçla her yıl yüzlerce milyon ton kimyasal gübre, mahsülün kalitesini ve verimini arttırmak için toprağa verilmektedir. Bitkiler daha iyi büyümeleri için, karbon dioksit ve suyun yanında en az altı elemente daha ihtiyaç duyarlar. Bunlar N, P, K, Ca, S ve Mg'dur. Bu bölümde azot ve fosfor içeren bir kaç gübrenin hazırlanışı ve özellikleri ele alınacaktır.

Azotlu gübreler, nitrat (NO_3^-) tuzları, amonyum (NH_4^+) tuzları ve bazı diğer bileşikler içermektedirler. Bitkiler azotu doğrudan nitrat şeklinde alabilirler. Buna karşın, amonyum tuzları ve amonyak (NH_3), toprak bakterileri vasıtasıyla önce nitratlara dönüştürülmelidir. Azotlu gübrelerin ana ham maddesi, azot ve hidrojenin tepkimesinden elde edilen amonyaktır.

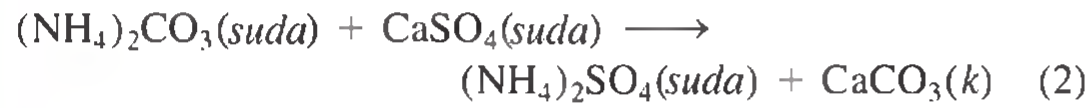
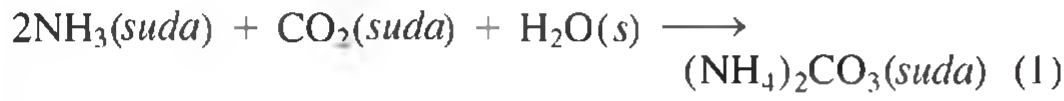


(Bu tepkime ayrıntılı olarak Bölüm 13 ve 14'de tartışılacaktır). Sıvı amonyak, toprağa doğrudan enjekte edilebilir.

Seçenek olarak amonyak, amonyum nitrat [NH_4NO_3] amonyum sulfat [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] veya amonyum hidrojen fosfatlara [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] dönüştürülebilir. Bu dönüşümü gösteren asit-baz tepkimeleri aşağıda verilmektedir.



Amonyum sülfatı elde etmenin diğer bir yönteminde iki adım gerekir.



Başlangıç maddeleri olan karbondioksit ve kalsiyum sülfat, sülfirik asitten daha az maliyetli olduğundan, bu son yaklaşım tercih edilir. Verimi arttırmak için, Tepkime 1'de amonyak sınırlayıcı reaktif yapılıır. Tepkime 2'de ise amonyum karbonat sınırlayıcı reaktif yapılıır.

Yandaki Çizelgede yaygın olarak kullanılan bazı gübrelerde, kütlece azot yüzdeleri verilmiştir. Ürenin eldesi. Örnek 3.15'de tartışılmıştır.



Ekim yapılmadan önce sıvı amonyağın toprağa karıştırılması.

Yaygın olarak kullanılan beş gübrede azotun kütlece yüzde bileşimi.

Gübre	Kütlece % Azot
NH_3	82,4
NH_4NO_3	35,0
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21,2
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	21,2
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46,7

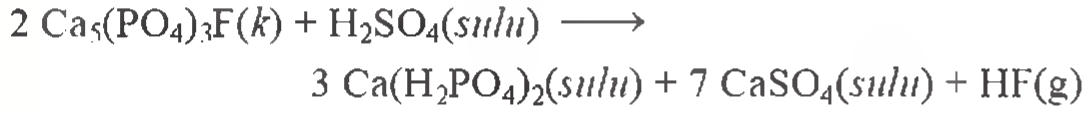
Bir gübrenin diğerine tercih edilmesinde, birkaç faktörün ekisi vardır: (1) gübreyi elde etmek için hammadde maliyeti; (2) depolama, taşıma ve kullanım kolaylığı; (3) gübrede olması istenen elementin kütlece yüzde bileşimi ve (4) bileşiğin uygunluğu, yani bileşiğin suda çözünüp-çözünmediği ve bitkiler tarafından kolay alınıp-alınmayacağı. Tüm bu faktörler birlikte dikkate alındığında, kütlece en yüksek yüzdeye amonyak sahip olmasına rağmen, NH_4NO_3 dünyadaki en önemli azot içeren gübredir.

Fosfor gübreleri *florapatit*, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, adı verilen fosfat kayasından elde edilir. Florapatit suda çözünmez ve bundan

KİMYA İş Başında

(Devamı)

dolayı öncelikle suda çözünebilen kalsiyum dihidrojen fosfata $[Ca(H_2PO_4)_2]$ dönüştürülmelidir:



Maksimum verim için, florapatit bu tepkimede sınırlayıcı reaktif yapılı.

Gübrelerin hazırlanması için yukarıda tartıştığımız tepkimelerin tamamı çok basit gibi görünmektedir. ancak verimi arttırmak için örneğin sıcaklık, basınç ve benzeri şartları değiştirerek çok çaba harcanmaktadır. Endüstride çalışan kimyacılar, genellikle ilk öncü tepkimelerini laboratuvarlarda gerçekleştirirler, daha sonra büyük çapta ticari üretime geçmeden önce pilot uygulamayla test ederler.

Anahtar Eşitlikler

Bir elementin yüzde bileşimi =

$$\frac{n \times \text{elementin mol kütlesi}}{\text{bileşiğin mol kütlesi}} \% 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{verim} = \frac{\text{gerçek verim}}{\text{kuramsal verim}} \% 100 \quad (3.4)$$

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Atom kütleleri, atomik kütle birimi(akb) cinsinden ölçülür ve C-12 izotopu tam 12 kabul edilerek, kıyaslama yapılır. Belirli bir elementin atomları için verilen atom kütleleri, doğal izotoplarının dağılımının ortalamasıdır. Bir molekülün molekül kütlesi, moleküldeki atomların atomik kütlelerinin toplamıdır. Hem atomik kütle hem de molekül kütlesi, kütle spektrometresi ile tam olarak belirlenebilir.
2. Bir mol, Avogadro sayısı (6.022×10^{23}) kadar atom, molekül veya diğer taneciklerdir. Bir elementin ya da bileşiğin gram cinsinden mol kütlesi, atomik kütle birimine (akb) sayısal olarak eşittir ve Avogadro sayısı kadar atom (elementlerde), molekül (bileşiklerde) veya en basit formül birimi (iyonik bileşiklerde) içerir.
3. Bir bileşiğin kütlece yüzde bileşimi kendisini oluşturan elementlerin kütlece yüzdeleridir. Bileşiğin kütlece yüzde bileşimini bilirse, bileşiğin kaba formülü bulabiliriz. Eğer yaklaşık molekül kütlesi de bilinirse, bileşiğin molekül formülünü de bulabiliriz.
4. Kimyasal tepkime olarak adlandırılan kimyasal değişimler kimyasal eşitliklerle gösterilirler. Değişime uğrayan maddeler (tepkenler) çoğunlukla ok işaretinin sol tarafına ve oluşan maddeler (ürünler) sağ tarafına yazılırlar. Kimyasal eşitlikler kütle korunumu yasasına göre denkleştirilmelidir. Tepkenlerdeki her bir elementin atom sayısı, ürünlerdeki sayıya eşit olmalıdır.
5. Stokiyometri, kimyasal tepkimelerdeki ürün ve tepkenlerin nicel olarak incelenmesi işlemidir. Stokiyometrik hesaplamalar en iyi, bilinen ve bilinmeyen miktarlar mol cinsinden ifade edilerek yapılır, daha sonra gerekirse molar diğer birimlere dönüştürülür. Sınırlayıcı reaktif, stokiyometrik olarak en küçük miktarda bulunan tepkendir. Bir tepkimeden elde edilen ürün miktarı (gerçek verim), mümkün olan en yüksek miktardan (kuramsal verim) daha az olabilir. Bu ikisinin oranı 100 ile çarpılırsa, sonuç yüzde verim olarak ifade edilir.

Anahtar Kelimeler

Aşırı tepken, s. 99	Kimyasal eşitlik, s. 90	Mol kütleli (}), s. 78	Stokiyometrik miktar, s. 99
Atomik kütle birimi (akb), s. 76	Kimyasal tepkime, s. 90	Mol yöntemi, s. 95	Sınırlayıcı tepken, s. 99
Atom kütleli, s. 76	Kuramsal verim, s. 103	Molekül kütleli, s. 62	Tepken, s. 91
Avogadro sayısı (NA), s. 78	Kütlece yüzde bileşim, s. 85	Sınırlayıcı tepken, s. 99	Ürün, s. 91
Gerçek verim, s. 103	Mol, s. 77	Stokiyometri, s. 95	Yüzde verim, s. 103

Sorular ve Problemler

Atomik kütle

Tarama Soruları

- 3.1 Bir atomik kütle birimi nedir? Böyle bir birim niçin tanımlanmıştır?
- 3.2 Bir karbon-12 atomunun kütleli (akb olarak) nedir? Kitabın ön kapağının içinde verilen periyodik çizelgede karbonun atomik kütleli neden 12,01 akb olarak listelenmektedir?
- 3.3 “Altının atom kütleli 197,0 akb’dır” ifadesiyle neyin anlatılmak istendiğini kısaca açıklayınız.
- 3.4 Bir elementin ortalama atom kütleli hesaplamak için hangi bilgilere gerek duyarsınız?

Problemler

- 3.5 $^{35}_{17}\text{Cl}$ (yüzde 75,53) ve $^{37}_{17}\text{Cl}$ (yüzde 24,27) izotoplarının atomik kütleli sırasıyla 34,968 akb ve 36,956 akb’dir. Klorun ortalama atomik kütleli hesaplayınız. Parantez içindeki yüzdeler bağıl bollukları vermektedir.
- 3.6 ^6_3Li ve ^7_3Li izotoplarının atomik kütleli sırasıyla 6,0151 akb ve 7,0160 akb’dir. Li atomunun ortalama atomik kütleli 6,941 akb ise, bu iki doğal izotopun doğal bolluklarını hesaplayınız.
- 3.7 13,2 akb’ye karşılık gelen kütle kaç gramdır?
- 3.8 8,4 g’a karşılık gelen kütle kaç akb eder?

Avogadro Sayısı ve Mol Kütleli

Tarama Soruları

- 3.9 “Mol” terimini tanımlayınız. Hesaplamalarda mol’un birimi nedir? Bir çift, bir düzine ve bir gross ile mol arasındaki ilişki nedir? Avogadro sayısı neyi temsil etmektedir?
- 3.10 Bir atomun mol kütleli nedir? Mol kütleli için kullanılan genel birim nedir?

Problemler

- 3.11 Dünyanın nüfusu 6,5 milyardır. Dünyadaki her kişinin saniyede iki tanecik saydığını düşünün.

$6,0 \times 10^{23}$ taneciği saymak için kaç yıl gerekir? (1 yıl 365 gün kabul edilecektir)

- 3.12 Bir kağıdın kalınlığı 0,0036 inçtir. Bir kitabın Avogadro sayısı kadar sayfaya sahip olduğunu varsayarak, kitabın kalınlığını ışık-yılı olarak bulunuz. (İpucu: ışık-yılının tanımı için Problem 1,49’a bakınız)
- 3.13 5,10 mol kükürt (S) içinde kaç tane atom vardır?
- 3.14 $6,00 \times 10^3$ (6 milyar) kobalt (Co) atomu kaç moldür?
- 3.15 77,4 g kalsiyum (Ca) kaç moldür?
- 3.16 15,3 mol altın (Au) kaç gramdır?
- 3.17 Şu elementlerin tek bir atomunun gram olarak kütleli nedir? (a) Hg, (b) Ne
- 3.18 Şu elementlerin tek bir atomunun gram olarak kütleli nedir? (a) As, (b) Ni
- 3.19 $1,00 \times 10^{12}$ tane kurşun (Pb) atomunun gram olarak kütleli nedir?
- 3.20 3,14 g bakır (Cu) kaç tane Cu atomu içerir?
- 3.21 Hangisi daha fazla atoma sahiptir: 1,10 g hidrojen atomu ya da 14,7 g krom (Cr) atomu?
- 3.22 Hangisinin kütleli daha büyüktür: 2 atom kurşun ve $5,1 \times 10^{-23}$ mol helyum?

Molekül Kütleli

Problemler

- 3.23 Aşağıdaki maddelerin molekül kütleli veya formül kütleli (akb) hesaplayınız: (a) CH_4 , (b) NO_2 , (c) SO_3 , (d) C_6H_6 , (e) NaI, (f) K_2SO_4 , (g) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.
- 3.24 Aşağıdaki maddelerin mol kütleli hesaplayınız: (a) Li_2CO_3 , (b) CS_2 , (c) CHCl_3 , (kloroform) (d) $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (askorbik asit veya C vitamini), (e) KNO_3 , (f) Mg_3N_2 .
- 3.25 Bir bileşiğin 0,372 molü 152 g’dır. Mol kütleli hesaplayınız.

- 3.26** Etanın (C_2H_6), 0,334 gramında kaç molekül etan molekülü vardır?
- 3.27 Bir şeker olan glüközün ($C_6H_{12}O_6$), 1,50 gramındaki C, H ve O atomlarının sayılarını hesaplayınız?
- 3.28** DMSO diye de adlandırılan dimetil sülfoksit [$(CH_3)_2SO$], yüzeysel ilaç dağıtıcı reaktif olarak kullanılan ve deriye nüfuz eden önemli bir çözücüdür. Dimetil sülfoksitin $7,14 \times 10^1$ gramındaki C, S, H, ve O atomlarının sayılarını hesaplayınız.
- 3.29 Feromon, bir çok dişi böcek türü tarafından salgılanan ve erkek böceği çiftleşmeye çağıran bir hormondur. Bir feromon molekülünün formülü $C_{15}H_{18}O$ 'dur. Dişi böcek tarafından salgılanan feromon miktarı yaklaşık $1,0 \times 10^{-12}$ g'dır. Bu miktar içinde kaç molekül vardır?
- 3.30** Suyun yoğunluğu $4^\circ C$ 'de $1,00 \text{ g/mL}$ 'dir. Bu sıcaklıktaki $2,56 \text{ mL}$ su içinde kaç su molekülü vardır?

Kütle Spektrometresi

Tarama Soruları

- 3.31 Bir kütle spektrometresinin çalışmasını açıklayınız?
- 3.32 Bir elementin izotopik bolluğunun, o elementin kütle spektrumundan nasıl bulunacağını açıklayınız?

Problemler

- 3.33 Karbon iki kararlı izotopa, ^{12}C ve ^{13}C sahiptir ve flor (F) yalnızca tek kararlı izotopa ^{19}F sahiptir. Pozitif CF_4^+ iyonunun kütle spektrometresinde kaç spektrum piki (çizgisi) gözlenir? İyonların daha küçük parçacıklara bölünmediğini varsayınız.
- 3.34** Hidrojen iki kararlı izotopa (1H ve 2H) ve kükürt dört kararlı izotopa (^{32}S , ^{33}S , ^{34}S ve ^{36}S) sahiptir. Hidrojen sülfürün pozitif iyonu için (H_2S^+) kütle spektrumunda kaç spektrum çizgisi gözlenir? İyonların daha küçük parçacıklara bölünmediğini varsayınız.

Yüzde Bileşen ve Kimyasal Formüller

Tarama Soruları

- 3.35 Amonyak (NH_3) örneğini ele alarak, bir bileşiğin kütlece yüzde bileşiminin anlamını açıklayınız?
- 3.36 Bilinmeyen bir bileşiğin kütlece yüzde bileşiminin bilinmesi, bu bileşiğin yapısını bulmamıza nasıl yardımcı olur, açıklayınız.
- 3.37 Kaba formüldeki "kaba" kelimesinin anlamı nedir?
- 3.38 Bir bileşiğin kaba formülünü bilirsek, onun molekül formülünün bulunabilmemiz için gereken ek bilgi nedir?

Problemler

- 3.39 Kalay (Sn) yer kabuğunda SnO_2 şeklinde bulunur. SnO_2 'deki Sn ve O'nin kütlece yüzde bileşimlerini hesaplayınız.

- 3.40** Kloroform ($CHCl_3$) karaciğer, böbrek ve kalp üzerinde hasar yapan zehirli bir bileşik olmasına karşın, anestezide uzun yıllar kullanılmıştır. Bu bileşiğin kütlece yüzde bileşimini hesaplayınız.

- 3.41 Sınnamik alkol çoğunlukla parfüm yapımında, özellikle sabun ve kozmetikte kullanılır ve molekül formülü $C_9H_{10}O$ 'dur. (a) Sınnamik alkoldeki C, H ve O'nun kütlece yüzdeleri hesaplayınız. (b) $0,469 \text{ g}$ 'lık bir örnekte kaç tane sınnamik alkol molekülü vardır?

- 3.42** Aşağıda verilen bileşiklerin hepsi gübre olup, toprağa azot sağlarlar. Bunlardan hangisi kütlece yüzdesine göre daha zengin azot kaynağıdır?

- (a) Üre, $(NH_2)_2CO$
 (b) Amonyum nitrat, NH_4NO_3
 (c) Guanidin, $HNC(NH_2)_2$
 (d) Amonyak, NH_3

- 3.43 Sarımsağın kendine özgü kokusunu veren bileşik alisindir. Bu bileşiğin analizi sonucu elde edilen kütlece yüzdelere şöyledir: C: %44; H: %6,21; S: %39,5; O: %9,86. Alisinin kaba formülünü bulunuz. Mol kütlesi yaklaşık 162 g ise molekül formülü nedir?

- 3.44** Peroksiaçilnitrat (PAN) dumanın (sis) bileşenlerinden biridir. PAN, C, H, N ve O'den oluşur. Aşağıdaki yüzde bileşiminden yararlanarak, oksijenin yüzde bileşimini ve bileşiğin kaba formülünü belirleyiniz. C: %19,8; H: %2,50; N: %11,6. Bileşiğin mol kütlesi yaklaşık 120 g ise molekül formülü nedir?

- 3.45 Pasın formülü Fe_2O_3 şeklindedir. $24,6 \text{ g}$ pastaki demir kaç moldür?

- 3.46** 246 g civa (Hg) ile tepkimeye girerek HgS oluşturmak için gerekli kükürt kaç gramdır?

- 3.47 $20,4 \text{ g}$ Al ile tamamen tepkimeye girerek AlI_3 oluşturacak olan iyodun (I_2) kütlesini hesaplayınız?

- 3.48** Kalay (II) florür (SnF_2) dış çürütmesini önlemek amacıyla diş macununa ilave edilen katkılardan biridir. $24,6 \text{ g}$ SnF_2 bileşiği içerisindeki florun kütlesi gram olarak nedir?

- 3.49 Aşağıdaki bileşimlere sahip bileşiklerin kaba formülleri nedir? (a) %2,1 H, %65,3 O, %32,6 S (b) %20,2 Al, %79,8 Cl.

- 3.50** Aşağıdaki bileşimlere sahip bileşiklerin kaba formüllerini bulunuz? (a) %40,1 C, %6,6 H, %53,3 O (b) %18,2 C, %21,5 N, %60,1 K.

- 3.51 Morton tuzuna topaklanmasını önlemek için kalsiyum silikat ($CaSiO_3$) eklenir. Bu bileşik, kütlesinin $2,5$ katı kadar suyu emer ve yine de serbest akışlı toz

olarak kalır. CaSiO_3 'ün yüzde bileşimini hesaplayınız?

- 3.52** Bir bileşiğin kaba formülü CH 'dir. Bu bileşiğin yaklaşık mol kütlesi 78 g ise, molekül formülü nedir?
- 3.53** Kafeinin mol kütlesi 194,19 g'dır. Hangisi kafeinin molekül formülüdür: $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}_2\text{O}$ ya da $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$?
- 3.54** Monosodyum glutamat (MSG) gıda lezzet artırıcıdır, baş ve göğüs ağrılarına neden olan "Çin lokantası sendromu" hastalığından sorumlu bileşik olarak gösterilmektedir. MSG'nin kütlece bileşimi: %35,51 C, %4,77 H, %37,85 O, %8,29 N ve %13,60 Na'dır. Bu bileşiğin molekül kütlesi yaklaşık 169 g ise molekül formülünü bulunuz?

Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Eşitlikler

Tarama Soruları

- 3.55** Hidrojen ve oksijenden su oluşumu tepkimesini kullanarak, şu terimleri açıklayınız: kimyasal tepkime, tepken, ürün.
- 3.56** Kimyasal tepkime ve kimyasal eşitlik arasındaki fark nedir?
- 3.57** Kimyasal denklem niçin denkleştirilmelidir? Denkleştirilmiş bir eşitlik hangi yasaya uyar?
- 3.58** Bir kimyasal tepkimede gaz, sıvı, katı ve sulu fazları gösteren simgeler nelerdir?

Problemler

- 3.59** Aşağıdaki tepkimeleri bölüm 3.7'de verilen yöntemi kullanarak denkleştiriniz.
- $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}$
 - $\text{CO} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$
 - $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{HBr}$
 - $\text{K} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{KOH} + \text{H}_2$
 - $\text{Mg} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{MgO}$
 - $\text{O}_3 \longrightarrow \text{O}_2$
 - $\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
 - $\text{N}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{NH}_3$
 - $\text{Zn} + \text{AgCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{Ag}$
 - $\text{S}_8 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$
 - $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{Cl}_2 + \text{NaI} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{I}_2$
 - $\text{KOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{K}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{CH}_4 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CBr}_4 + \text{HBr}$
- 3.60** Aşağıdaki tepkimeleri bölüm 3.7'de verilen yöntemi kullanarak denkleştiriniz.
- $\text{N}_2\text{O}_5 \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + \text{O}_2$
 - $\text{KNO}_3 \longrightarrow \text{KNO}_2 + \text{O}_2$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 \longrightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

- $\text{NH}_4\text{NO}_2 \longrightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NaHCO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- $\text{P}_4\text{O}_{10} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{PO}_4$
- $\text{HCl} + \text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- $\text{Al} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2$
- $\text{CO}_2 + \text{KOH} \longrightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Be}_2\text{C} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Be}(\text{OH})_2 + \text{CH}_4$
- $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{S} + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NH}_3 + \text{CuO} \longrightarrow \text{Cu} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$

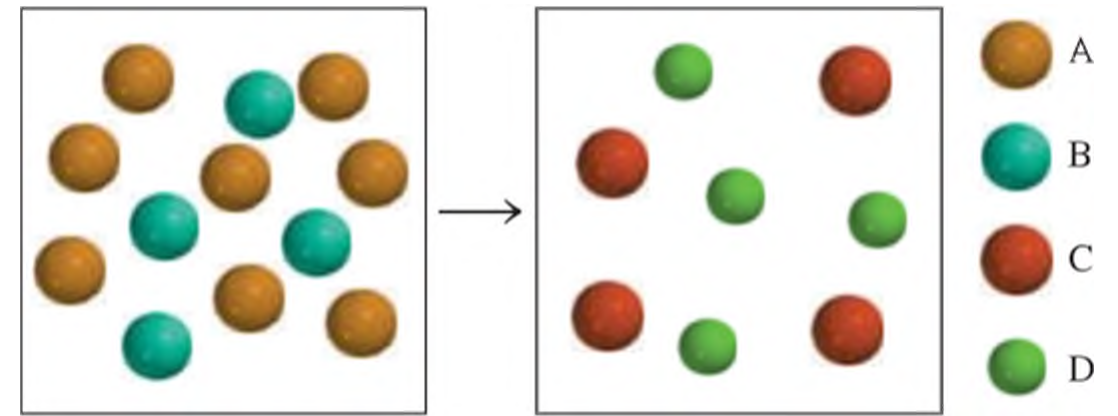
Tepken ve Ürünlerin Miktarları

Tarama Soruları

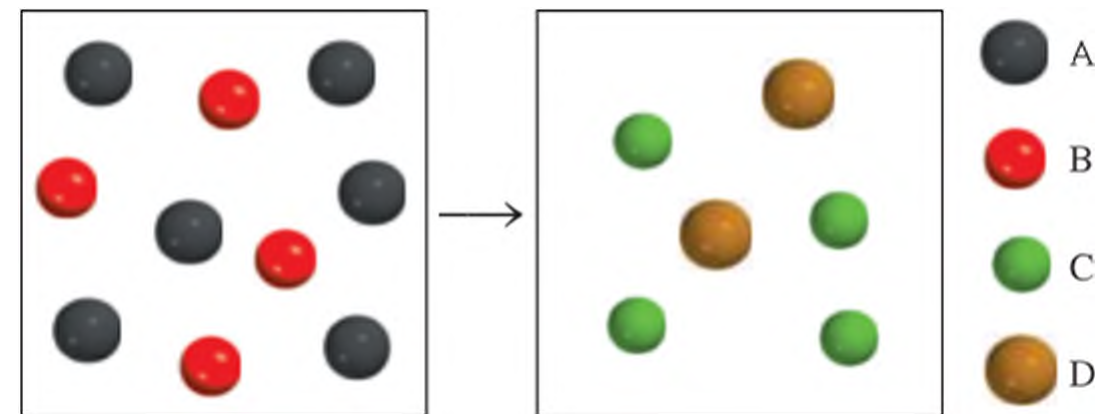
- 3.61** Stokiyometri hangi yasaya dayanır? Stokiyometrik problemlerin çözümünde niçin denkleştirilmiş eşitliği kullanmak esastır?
- 3.62** Mol yönteminde gerekli basamakları açıklayınız.

Problemler

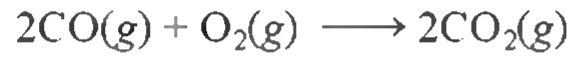
- 3.63** Diyagramda verilen tepkimeyi aşağıdaki eşitliklerden hangisi en iyi şekilde gösterir?
- $8\text{A} + 4\text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$
 - $4\text{A} + 8\text{B} \longrightarrow 4\text{C} + 4\text{D}$
 - $2\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$
 - $4\text{A} + 2\text{B} \longrightarrow 4\text{C} + 4\text{D}$
 - $2\text{A} + 4\text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$



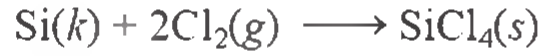
- 3.64** Diyagramda verilen tepkimeyi aşağıdaki eşitliklerden hangisi en iyi şekilde gösterir?
- $\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$
 - $6\text{A} + 4\text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$
 - $\text{A} + 2\text{B} \longrightarrow 2\text{C} + \text{D}$
 - $3\text{A} + 2\text{B} \longrightarrow 2\text{C} + \text{D}$
 - $3\text{A} + 2\text{B} \longrightarrow 4\text{C} + 2\text{D}$



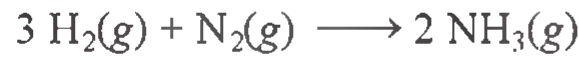
- 3.65 Aşağıdaki eşitliğe göre, karbon monoksit (CO) gazının oksijen gazı ile yanma tepkimesini düşüncünüz. Yeterince oksijen içinde 3,60 mol CO'nun yanması ile oluşan CO₂ mol sayısını hesaplayınız.



- 3.66 Aşağıdaki eşitliğe göre, silisyum tetraklorür (SiCl₄), silisyumun klor gazında ısıtılmasından elde edilmektedir. Bir tepkimede 0,507 mol SiCl₄ oluşmaktadır. Tepkimede kullanılan klor moleküllerinin mol sayısı kaçtır?



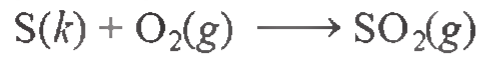
- 3.67 Amonyak temel bir azot gübresidir ve aşağıdaki eşitliğe göre, hidrojen ve azot arasındaki tepkimeden elde edilir. Belirli bir tepkimede, 6,0 mol NH₃ oluşmuştur. Bu amonyağın miktarı için kaç mol N₂ ve kaç mol H₂ tepkimeye girmiştir?



- 3.68 Bazı yarış arabaları yakıt olarak metanol (CH₃OH, odun alkolü olarak da adlandırılır) kullanır. Metanolün yanması aşağıdaki denkleme göre olur. Belirli bir tepkimede, 9,8 mol CH₃OH aşırı O₂ ile tepkimeye sokulur. Oluşan suyun mol sayısını hesaplayınız.



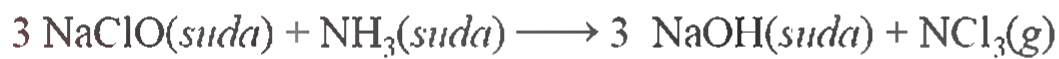
- 3.69 Fosil ve kömür yakıtlarının yanmasından, otomobil eksozları ve diğer kaynaklardan kükürt dioksitin (SO₂) yıllık üretimi yaklaşık 26 milyon tondur. Tepkime eşitliği aşağıdadır.



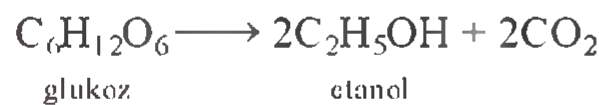
Başlangıç maddelerindeki kaç ton kükürt bu kadar kükürt dioksiti oluşturur?

- 3.70 Kabartma tozu (sodyum bikarbonat veya sodyum hidrojen karbonat, NaHCO₃) ısıtılırsa, kurabiye, lokma tatlısı ve ekmeğin kabarmasına neden olan CO₂ gazı açığa çıkar. Ekmeğin, kek v.b. ürünler bu nedenle kabarırlar. (a) Bozunma tepkimesini yazarak denkleştiriniz (ürünlerden biri Na₂CO₃'dür), (b) 20,5 g CO₂ oluşturan NaHCO₃ kütlesi nedir?

- 3.71 Eğer ağartıcı klor amonyak içeren diğer temizleyicilerle karıştırılırsa, aşağıdaki eşitliğe göre zehirli bir gaz olan NCl₃(g) oluşabilir. 2,94 g NH₃, aşırı NaClO ile aşağıdaki eşitliğe göre tepkimeye girdiğinde, kaç g NCl₃ oluşturulur?



- 3.72 Şarap yapımındaki fermentasyon oldukça karmaşık bir kimyasal işlem olup glukoz, etil alkol ve karbon dioksit dönüştürülür:



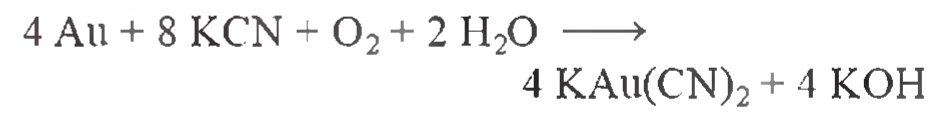
500,4 g glukozdan elde edilebilecek maksimum etil alkol miktarını gram ve litre olarak bulunuz (alkolün yoğunluğu = 0,789 g/mL.)

- 3.73 Her bakır(II) sülfat birimi beş molekül su ile birleşerek kristal yapılı, mavi bakır(II) sülfat pentahidrat (CuSO₄ · 5H₂O) oluşturur. Bu bileşik havada 100° C'nin üstünde ısıtıldığında, su moleküllerini ve mavi rengini kaybeder:



15,01 g mavi bileşik ısıtılmış ve geriye 9,60 g CuSO₄ kalmıştır. Bu bileşikteki suyun mol sayısını bulunuz?

- 3.74 Uzun yıllardır, altının diğer maddelerden ayrılmasında KCN kullanılır.

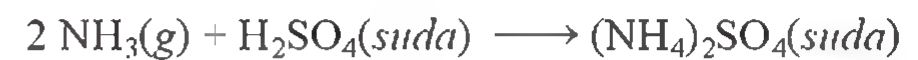


Yukarıdaki tepkimeye göre, 29,0 g (yaklaşık 1 ons) altın elde etmek için en az kaç mol KCN kullanılır?

- 3.75 Kireç taşı (CaCO₃) ısıtıldığı zaman sönmemiş kireç (CaO) ve karbon dioksit bozunur. 1,0 kg kireç taşından kaç gram sönmemiş kirecin elde edileceğini hesaplayınız.

- 3.76 "Güldürtücü gaz" olarak bilinen nitroz oksit (N₂O) amonyum nitratın (NH₄NO₃) ısısal bozunmasıyla elde edilebilir. Oluşan diğer ürün ise H₂O'dur. (a) Bu tepkime için, denkleştirilmiş bir eşitliği yazınız. (b) Eğer tepkimede 0,46 mol NH₄NO₃ kullanılırsa, oluşacak N₂O miktarı kaç gramdır?

- 3.77 Amonyum sülfat [(NH₄)₂SO₄] gübresi, amonyak (NH₃) ile sülfürik asidin (H₂SO₄) tepkimesinden elde edilir. Tepkimeye göre, 1,00 × 10⁵ kg (NH₄)₂SO₄ üretmek için kaç gram NH₃ gerekir?



- 3.78 Laboratuvar koşullarında oksijen gazı elde etmenin en yaygın yöntemi, potasyum kloratın (KClO₃) ısıyla bozunmasıdır. Bozunmanın tam olduğu varsayıldığında, 46,0 g KClO₃'dan elde edilebilecek O₂'in gram miktarını hesaplayınız. (Ürünler, KCl ve O₂'dir).

Sınırlayıcı reaktifler

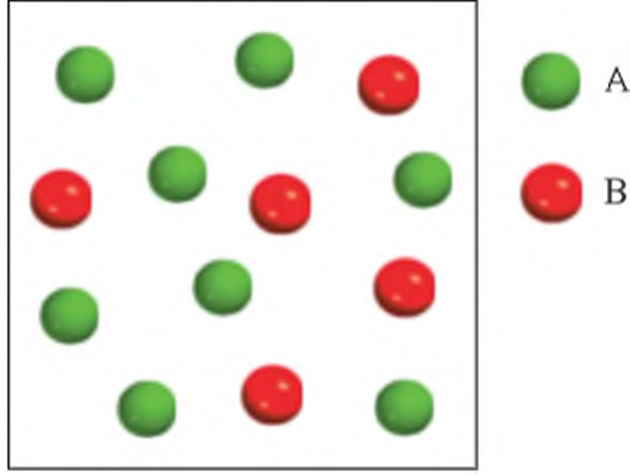
Tarama Soruları

- 3.79 Sınırlayıcı reaktif ve aşırı reaktif kavramlarını açıklayınız. Bir tepkimede oluşacak ürünün miktarını tahmin etmede sınırlayıcı reaktifin önemi nedir? Tek bir tepken varsa sınırlayıcı reaktif olabilir mi?
- 3.80 Sınırlayıcı reaktif kavramını gösteren günlük yaşamdan örnekler veriniz.

Problemler

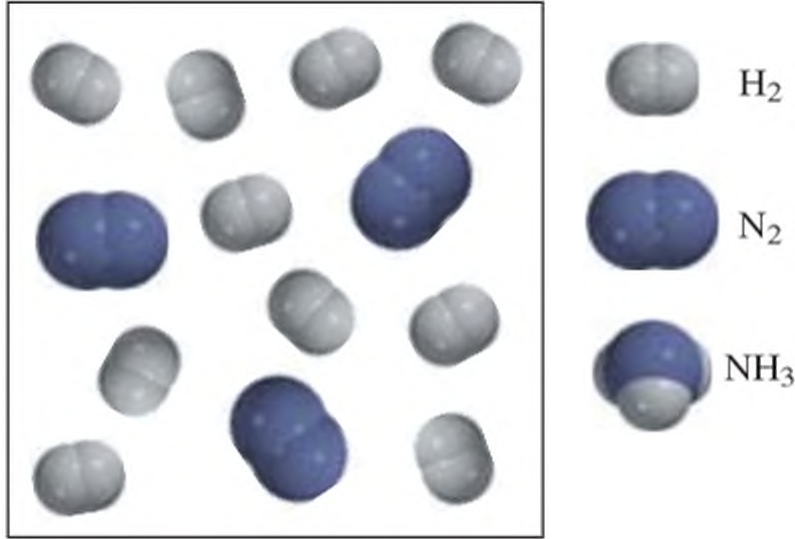
3.81 $2A - B \longrightarrow C$ tepkimesini düşününüz.

(a) Aşağıdaki diyagrama göre. A veya B tepkenlerinden hangisi sınırlayıcı tepkendir? (b) Tepkimenin tamamlandığını varsayarak. tepkime sonunda artan tepken ve oluşan ürün miktarlarını gösteren bir molekül modeli çiziniz. C'nin atom dizilişi ABA'dır.

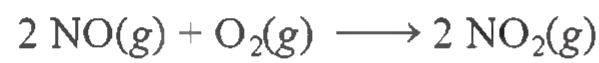


3.82 $N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3$ tepkimesini düşününüz.

Aşağıdaki diyagramda her bir modelin 1 mol maddeyi gösterdiğini kabul ederek. tamamlanan tepkime sonunda oluşan ürünün ve geri kalan aşırı tepkenin mol sayılarını gösteriniz.



3.83 Azot monoksit (NO) oksijen ile koyu kahverengi azot dioksit (NO₂) gazını oluşturmak üzere tepkimeye girmektedir:



Yukarıdaki tepkimeye göre, bir deneyde 0.886 mol NO ile 0.503 mol O₂ karıştırılmaktadır. Hangi tepkenin sınırlayıcı tepken olduğunu hesaplayınız. Oluşan NO₂'in kaç mol olduğunu hesaplayınız.

3.84 Amonyak ve sülfürik asit amonyum sülfat oluşturmak üzere tepkimeye girer. (a) Tepkime için bir eşitlik yazınız. (b) 20.3 g amonyum sülfat oluşur ve 5.89 g sülfürik asit tepkimeye girmeden geri kalırsa, her bir tepkenin başlangıç kütlelerini gram olarak bulunuz.

3.85 Propan (C₃H₈) doğal gazın bir bileşenidir ve evlerde ısıtma ve pişirmede kullanılır. (a) Propanın havada

yanmasını gösteren aşağıdaki eşitliği denkleştiriniz.



(b) 3.65 mol propan yandığında kaç gram CO₂ oluşabilir? Oksijenin bu tepkimede aşırı reaktif olduğu kabul ediniz.

3.86



Yukarıdaki tepkimeyi dikkate alınız. Eğer 0.86 mol MnO₂ ile 48.2 g HCl tepkimeye girerse, hangi tepken önce tükenir? Kaç gram Cl₂ oluşur?

Tepkime Verimi**Tarama Soruları**

3.87 Bir tepkimenin kuramsal verimi neden sadece sınırlayıcı reaktifin miktarıyla belirlenir?

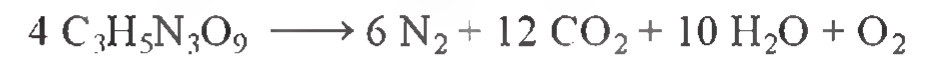
3.88 Bir tepkimenin gerçek verimi neden, neredeyse daima kuramsal verimden daha küçüktür?

Problemler

3.89 Hidrojen florür, Freonlar (stratosferde ozonu tahrip ederler) ve alüminyum metali üretiminde kullanılır. Hidrojen florür aşağıdaki tepkime ile elde edilir. Bir işlemde 6.00 kg CaF₂ aşırı miktarda H₂SO₄ ile etkileştiriliyor ve 2.86 kg HF elde ediliyor. HF'in yüzde verimini hesaplayınız?

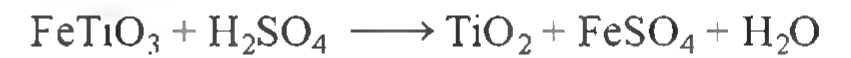


3.90 Nitrogliserin (C₃H₅N₃O₉) güçlü bir patlayıcı olup, bozunma tepkimesi aşağıdaki gibidir.



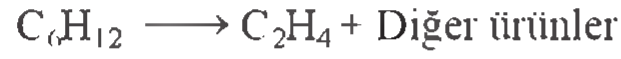
Bu tepkime gaz halinde bir çok ürün ve ısı oluşturur. Patlamanın nedeni ani gaz oluşumu ve bu gazların çok hızlı genişlemesidir. (a) 2.00 × 10² g nitrogliserinden oluşabilecek en yüksek O₂ miktarı gram olarak nedir? (b) 6.55 g O₂ elde edildiğini varsayarak, tepkimenin yüzde verimini hesaplayınız.

3.91 Titan(IV) oksit yani TiO₂ beyaz bir bileşik olup, sülfürik asit ile ilmenit (FeTiO₃) minerali arasındaki tepkimesinden oluşur.



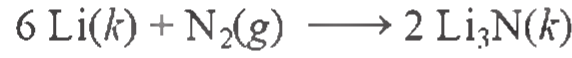
TiO₂ ışık geçirmeyen ve zehirsiz özelliği nedeniyle plastik ve boyalarda pigment olarak kullanılmaktadır. Yukarıdaki tepkimeye göre, bir işlemde 8.00 × 10³ kg FeTiO₃'den 3.67 × 10³ kg TiO₂ elde edilmiştir. Tepkimenin verimini hesaplayınız.

- 3.92** Önemli bir organik kimyasal madde olan etilen (C_2H_4), $800^\circ C$ 'de hekzanı (C_6H_{12}) ısıtmakla elde edilebilir.



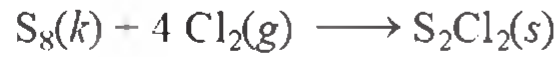
Etilenin üretiminin verimi yüzde 42.5 ise, 481 g etilen elde etmek için kaç gram hekzan tepkimeye girmelidir?

- 3.93** Lityum ısıtıldığı zaman azot ile tepkiyerek lityum nitriti oluşturmaktadır:



12,3 g Li metali 33,6 g N_2 ile ısıtıldığında oluşan Li_3N 'ün kuramsal verimi gram cinsinden nedir? Eğer Li_3N için gerçek verim 5,89 g ise tepkime verimi yüzde kaçtır?

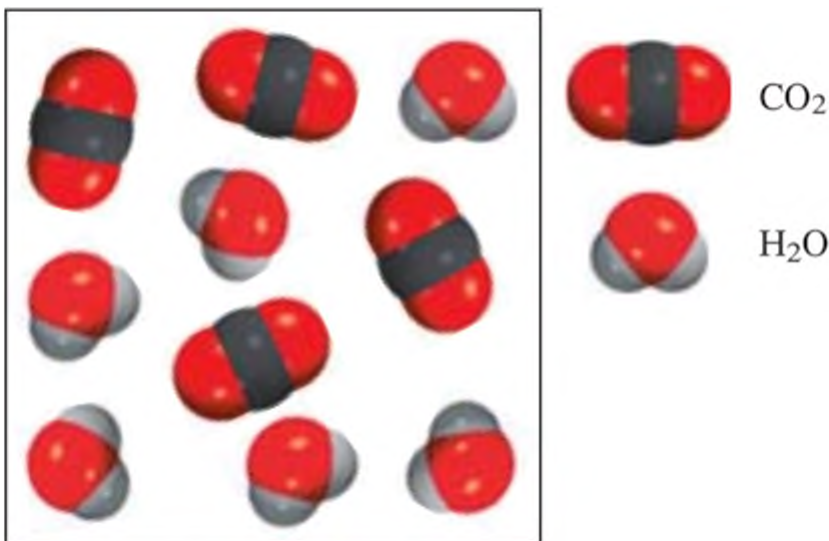
- 3.94** Disülfür diklorür (S_2Cl_2), araba lastiği üretiminin vulkanizasyonunda kullanılır. Bu işlem, lastik gerildiğinde moleküllerin birbiri üzerinden kaymasını önler.



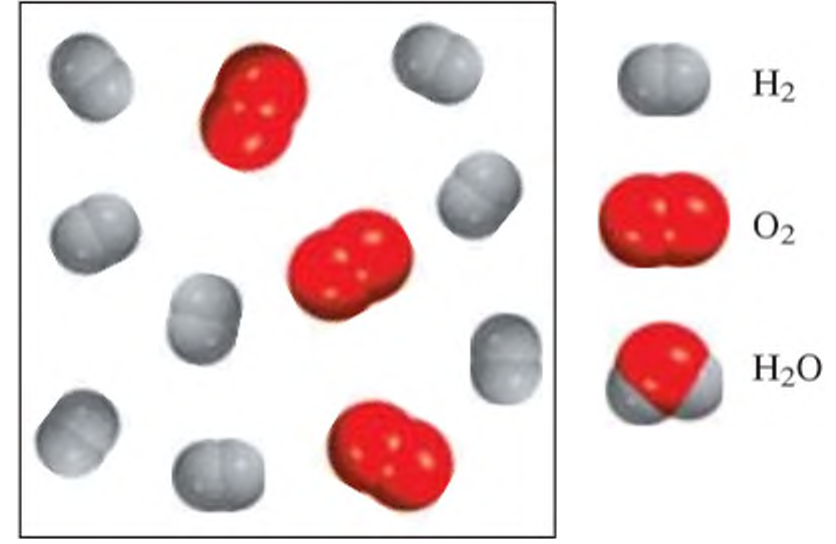
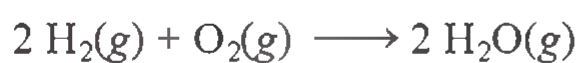
Disülfür diklorür, kükürtün (S_8) klor atmosferinde ısıtılmasıyla elde edilir. 4,06 g S_8 , 6,24 g Cl_2 ile ısıtıldığında, S_2Cl_2 'in gram cinsinden kuramsal verimi nedir? S_2Cl_2 'in gerçek verimi 6,55 g ise, yüzde verimi nedir?

Ek Problemler

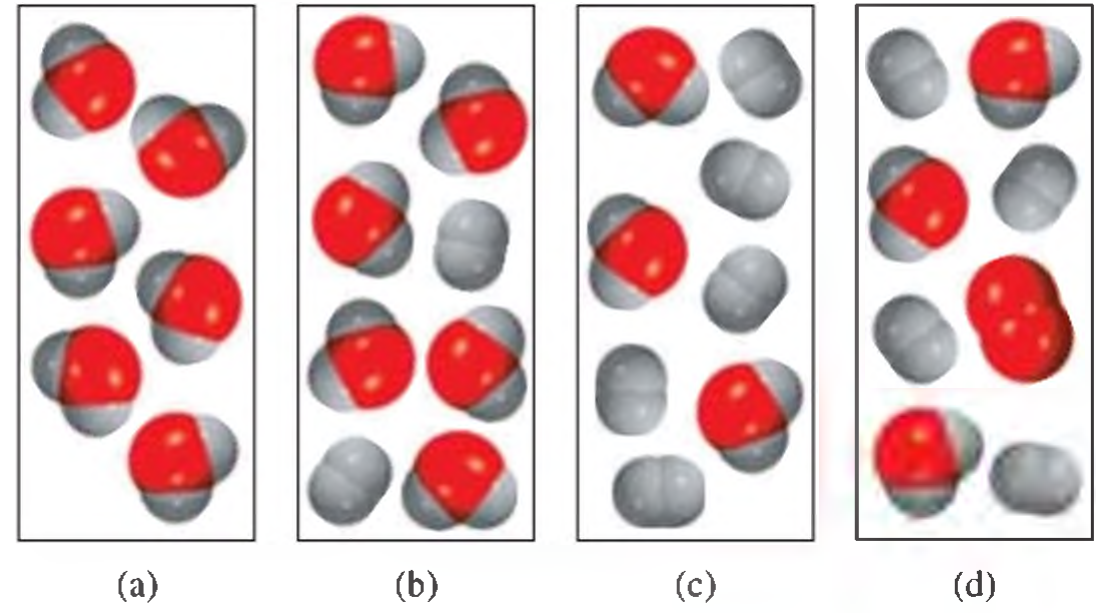
- 3.95** $^{69}_{31}Ga$ (68,9256 akb) ve $^{71}_{31}Ga$ (70,9247 akb) izotoplarının ortalama atomik kütlesi 69,72 akb dir. Galyum (Ga) izotoplarının doğal bolluğunu hesaplayınız.
- 3.96** $^{85}_{37}Rb$ (84,912 akb) ve $^{87}_{37}Rb$ (86,909 akb) izotoplarının ortalama atomik kütlesi 85,47 akb'dir. Rubidyumun (Rb) izotoplarının doğal bolluğunu hesaplayınız.
- 3.97** Aşağıdaki diyagram bir hidrokarbonun (yanlızca C ve H içeren bir bileşik) yanmasından sonra oluşan ürünleri (CO_2 ve H_2O) gösterir. Tepkime için bir eşitlik yazınız. (*İpucu:* hidrokarbonun mol kütlesi yaklaşık 30 gramdır.)



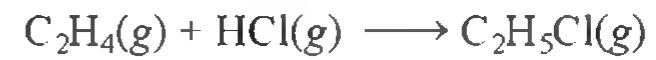
- 3.98** Hidrojenle gazı ile oksijen gazı arasındaki tepkimeyi düşününüz:



Bu tepkimenin tanımlandığını düşünerek, tepkimeden sonra geriye kalan tepken ve ürünleri gösteren kap aşağıdakilerden hangisidir?



- 3.99** Etilen (C_2H_4), etil klorür oluşturmak üzere hidrojen klorürle tepkimeye girer.

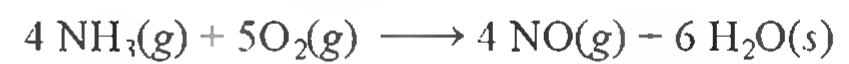


4,66 g etilenin yüzde 89,4'lük verimle oluşturacağı etil klorürün kütlesini hesaplayınız.

- 3.100** Aşağıda cümle olarak verilen tepkimeler için, denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.

- Pentan su ve karbon dioksit oluşturmak üzere oksijende yanar.
- Sodyum bikarbonat hidroklorik asitle sodyum klorür, su ve karbon dioksit oluşturmak üzere tepkimeye girer.
- Lityum azot atmosferinde ısıtıldığında, lityum nitrit oluşur.
- Fosfor triklorür, fosforik asit ve hidrojen klorür oluşturmak üzere suyla tepkimeye girer.
- Bakır (II) oksit amonyakla ısıtıldığında bakır, azot gazı ve su oluşturacaktır.

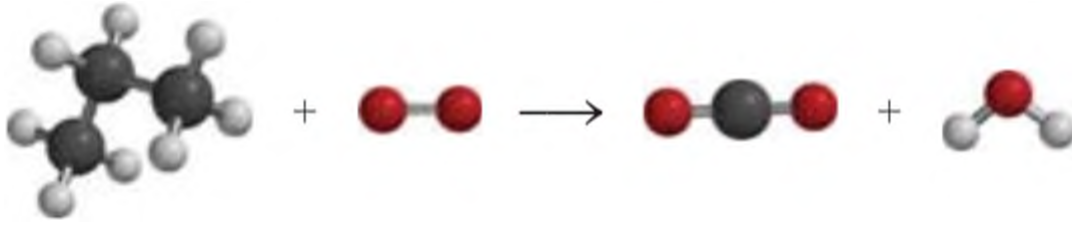
- 3.101** Sanayide nitrik asit, Ostwald işlemi ile aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibi üretilmektedir:



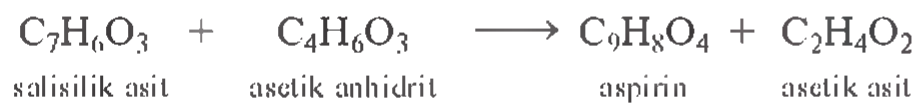
Her basamağın verimi %80 ise, 1 ton HNO_3 elde etmek için kullanılması gereken NH_3 miktarını

- gram cinsinden hesaplayınız? (1 ton = 2000 lb; 1 lb = 453.6 g)
- 3.102** Cl ve O içeren bir bileşik. 0.233 g HCl ve 0.403 g H₂O oluşturmak üzere aşırı H₂ ile tepkimeye girmektedir. Bu bileşiğin kaba formülünü bulunuz?
- 3.103 26.7 g bütanın (C₄H₁₀) tam yanmasından oluşacak olan su kaç gramdır?
- 3.104** 26.2 gram okzalik asit dihidrat (H₂C₂O₄ 2H₂O) örneği bir fırında tüm suyu tamamen uzaklaştırılmaya kadar ısıtılmaktadır. Geriye kalan susuz asit ne kadardır?
- 3.105 X elementinin atomik kütlesi 33.42 a.b'dir. X'in 27.22 g'lık bir miktarı, Y elementinin 84.10 gramı ile bir XY bileşiğini oluşturmak üzere birleşmektedir. Y'nin atomik kütlesini hesaplayınız.
- 3.106** 0.212 mol C ile (a) CO (b) CO₂ oluturmak üzere birleşmesi gereken O kaç moldür?
- 3.107 Bir kimyacı bir elementin iki izotopunu incelemek için kütle spektrometresi kullanmış ve belirli bir peritotta bu izotopların birçok spektrumunu kaydetmiştir. Yaptığı analizde, daha uzun olan pikin(daha çok bolluğa sahip izotop) kısa olan pike (daha az bolluğa sahip izotop) oranını zamanla kademeli olarak arttığını gözlemlemiştir. Kütle spektrometresinin doğru çalıştığı bilindiğine göre, size göre bu değişime ne sebep olmuştur?
- 3.108** Alüminyum sülfat hidrat [Al₂(SO₄)₃·xH₂O] kütlece %8.20 Al içermektedir. Al₂(SO₄)₃ biriminde bulunan, suyun mol sayısı olan "x" i hesaplayınız
- 3.109 Nitrogliserin (C₃H₅N₃O₉) ağırlığı azaltmak (göğüs anjini) için kalp hastalıklarında bir ilaç olarak da kullanılır. Nitrogliserinin kasları dinlendiren ve arterleri genişleten azot oksiti (NO) meydana getirdiğini bilmekteyiz. Her bir nitrogliserin molekülü N atomu başına bir NO açığa çıkarırsa, nitrogliserindeki elverişli NO'nun kütlece yüzdesini hesaplayınız.
- 3.110** Karat kuyumcuların kullandığı bir kütle birimidir. Bir karat tam olarak 200 mg'dır. 24 karatlık bir elmasda kaç tane karbon atomu vardır.
- 3.111 Demir bir çubuk 664 g'dır. Bu çubuk nemli havada bir ay durduktan sonra demirin yaklaşık 1/8'i pasa (Fe₂O₃) dönüşmüştür. Demir çubuğun ve pasın son kütlesini hesaplayınız?
- 3.112** MO formülüne sahip bir oksit bileşiğinde "M" metali göstermektedir. 39.46 g bileşik örneği hidrojen atmosferinde ısıtılarak yapısındaki oksijen, su molekülü şeklinde uzaklaştırılmıştır. Sonuçta, 31.70 g metal kalmıştır. Oksijen atomunun atom kütlesi 16.00 a.b. ise, M metalinin atom kütlesi nedir? Bu hangi element olabilir?
- 3.113 Saf olmayan çinko (Zn) fazla miktarda sülfürik asit (H₂SO₄) ile çinko sülfat (ZnSO₄) ve hidrojen molekülü (H₂) oluşturmak üzere tepkimeye sokulur. (a) Tepkime denklemi yazarak denkleştiriniz. (b) 3.86 g
- örnekten 0.0764 g H₂ elde edildiğine göre örneğin yüzde saflığını hesaplayınız. (c) b şıkında hangi kabulleri yapmalısınız?
- 3.114** Yüksek fırınlarda oluşan tepkimelerden birinde, demir cevheri dökme demire dönüştürülür:
- $$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \longrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$$
- 2.62×10^3 kg Fe₂O₃ örneğinden 1.64×10^3 kg Fe elde edildiğini kabul ediniz. Tepkimenin tanımlandığını varsayarak, örnekteki Fe₂O₃'ün yüzde saflığını bulunuz?
- 3.115 Karbon dioksit (CO₂), sera etkisiyle küresel ısınmaya neden olan en önemli gazdır. Fosil yakıtlarının yakılması atmosferdeki CO₂ miktarının artmasının ana nedenidir. CO₂ aynı zamanda metabolizmanın son ürünüdür (Örnek 3.13). Besin örneği olarak glukozu ele alarak ve her insanın günde 5.0×10^2 g glukoz tükettiğini kabul ederek, yılda kişi başına ne kadar CO₂ oluşturulduğunu bulunuz. Dünya nüfusu 6,9 milyar ve bir yıl 365 gündür.
- 3.116** Karbonhidratlar karbon, hidrojen ve oksijen içeren bileşikler olup, hidrojenin oksijene oranı 2:1'dir. Bir karbonhidrat kütlece %40.0 karbon içermektedir. Bu karbonhidratın mol kütlesi yaklaşık 178 g ise bileşiğin kaba ve molekül formülünü bulunuz.
- 3.117 Şunlardan hangisi daha büyük kütleyle sahiptir? 0.72 g O₂ veya 0.0011 mol klorofil (C₅₅H₇₂MgN₄O₅).
- 3.118** Bir metal klorür olan XCl₃'ün analizi, kütlece yüzde 67.2 klor içerdiğini göstermektedir. X elementinin mol kütlesini hesaplayınız ve hangi metal olduğunu söyleyiniz.
- 3.119 Hemoglobın (C₂₉₅₂H₄₆₆₄N₈₁₂O₈₃₂S₈Fe₄) kanda oksijen taşır. (a) Hemoglobın mol kütlesini hesaplayınız. (b) Ortalama bir yetişkin yaklaşık 5 L kana sahiptir. Kanın bir mililitresi yaklaşık 5.0×10^9 eritrosite (kırmızı kan hücresine) ve her bir kırmızı kan hücresi yaklaşık 2.8×10^8 hemoglobın molekülüne sahiptir. Bir yetişkindeki hemoglobın molekülleri miktarının kaç gram olduğunu hesaplayınız?
- 3.120** Miyoglobın, metabolik olaylar için kaslarda oksijen depolar. Kimyasal analizler miyoglobının kütlece yüzde 0.34 Fe içerdiğini göstermiştir. Miyoglobının mol kütlesi nedir? (Molekül başına bir Fe atomu içermektedir.)
- 3.121 Aşağıdaki bileşiklerin her birinde anyon ve katyonların sayılarını hesaplayınız. (a) 0.74 g CsI. (b) 72.8 g K₂Cr₂O₇. (c) 6.54 g Hg₂(NO₃)₂.
- 3.122** Bir NaBr ve Na₂SO₄ karışımı kütlece yüzde 29.96 Na içermektedir. Karışımındaki her bir bileşiğin kütlece yüzdelerini hesaplayınız.
- 3.123 $3\text{A} + 2\text{B} \longrightarrow 3\text{C}$ tepkimesini düşününüz. Bir öğrenci 4.0 mol A ile 4.0 mol B'yi karıştırıyor ve 2.8 mol C elde ediyor. Tepkimenin yüzde verimini hesaplayınız.

- 3.124** Molekül modelleri ile gösterilen aşağıdaki eşitliği denkleştiriniz.



- 3.125 Aspirin veya diğer adı ile asetil salisilik asit, salisilik asit ile asetik anhidrit arasındaki tepkimeyle elde edilir:



(a) 0.400 g aspirin(bir tablette yaklaşık olarak bulunur) elde etmek için kaç g salisilik asit gerekir? (asetik anhidritin aşırı olduğunu kabul ediniz) (b) Salisilik asitin yüzde 74.9'u aspirine dönüştürülebiliyorsa, başlangıçta gerekli olan salisilik asit miktarı nedir? (c) Bir deneyde, 9.26 g salisilik asit ile 8.54 g asetik anhidrit tepkimeye sokulmaktadır. Bu deneyde sadece 10.9 g aspirin elde edildiğine göre, aspirinin kuramsal verimini ve yüzde verimi hesaplayınız.

- 3.126** Kemiğin ana bileşeni olan kalsiyum fosfattaki $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ tüm elementlerin yüzde bileşimlerini hesaplayınız.
- 3.127 İnsan vücudunda gerekli amino asit olan lizin C, H, O ve N içermektedir. Bir deneyde, 2.175 g lizin tamamen yanmasıyla 3.94 g CO_2 ve 1.89 g H_2O oluşmuştur. Başka bir deneyde, 1.873 g lizin 0.436 g NH_3 vermiştir. (a) Lizin kaba formülünü hesaplayınız. (b) Lizin mol kütlesi yaklaşık olarak 150 g'dır. Bileşiğin molekül formülü nedir?
- 3.128** 1 g hidrojen molekülü, 1 gram H atomu kadar atom sayısına sahip midir ?
- 3.129 Avogadro sayısı bazen akb ile gram arasında bir dönüştürme faktörü olarak kullanılır. Örnek olarak flor atomunu (19.00 akb), atomik kütle birimi ile gram arasındaki ilişkiyi göstermede kullanınız.
- 3.130** Hidrojenin iki kararlı izotopunun(hidrojen ve döteryum) doğal bolluğu ^1H (% 99.985) ve ^2H (% 0.015)'dir. Suyun hem H_2O hemde D_2O şeklinde olduğunu kabul ederek, suyun tam olarak 400 mL'sinde bulunan D_2O moleküllerinin sayısını hesaplayınız. (Yoğunluk = 1.00 g/mL.)
- 3.131 Sadece C, H ve Cl içeren bir molekül bir kütle spektrometresi ile incelendi. En yüksek kütleyle sahip pik 52 akb olan iyon pikine karşılık gelmektedir. 50 akb'ye sahip olan iyon karşılık gelen pik, bolluğu en fazla olan piktir ve 52 akb'deki pik şiddetinin yaklaşık 3 katıdır. Bu bileşik için mantıklı bir molekül for-

mülü çıkarınız ve ifade edilen kütle piklerinin şiddeti ve yerlerini belirleyiniz [*İpucu:* Klor karşılaştırılabilir bolluğa sahip tek elementtir. ($^{35}_{17}\text{Cl}$ yüzde 75.5 ve $^{37}_{17}\text{Cl}$ yüzde 24.5) H için ^1H ; C için $^{12}_6\text{C}$; kullanınız)].

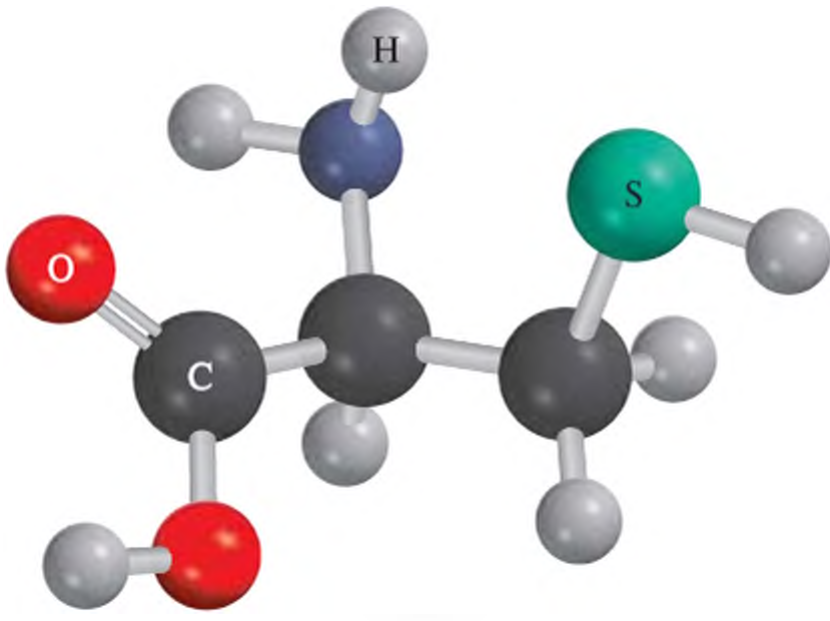
- 3.132** Karbon monoksit (CO) oluşumu için, 2.445 g karbon ile 3.257 g oksijenin birleştiği bulunmuştur. Karbonun atomik kütlesi 12.01 akb ise oksijenin atomik kütlesi nedir?
- 3.133 Cl_2O_7 bileşiğinin kendisini oluşturan elementlerine parçalanmasından oluşacak olan moleküller klorürün (Cl_2) moleküller oksijene (O_2) mol oranı ne olacaktır?
- 3.134** Şu maddelerin hangisinde klor kütlesi en fazladır? (a) 5.0 g Cl_2 , (b) 60.0 g NaClO_3 , (c) 0.1 mol KCl , (d) 30.0 g MgCl_2 , (e) 0.5 mol Cl_2 .
- 3.135 C, H ve Cl'dan meydana gelen bir bileşik kütlece % 55.0 Cl içermektedir. Eğer bu bileşiğin 9.00 gramı 4.19×10^{23} tane H atomu içerirse, bileşiğin kaba formülü nedir?
- 3.136** Platin klorla iki farklı bileşik oluşturmaktadır. Biri kütlece yüzde 26.7 Cl ve diğeri kütlece yüzde 42.1 içermektedir. Her iki bileşiğin kaba formülünü bulunuz.
- 3.137 Aşağıdaki tepkime yazıldığı haliyle stokiyometriktir:
- $$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl} + \text{NaOC}_2\text{H}_5 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{C}_4\text{H}_8 + \text{NaCl}$$
- Bu tepkime, verimi düşürebilecek olası su ile tepkimeye girmesi için genellikle aşırı NaOC_2H_5 ile gerçekleştirilir. Eğer bu tepkimeye 6.83 g $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ ile başlanırsa, mol olarak yüzde 50 fazlası gerekli olan NaOC_2H_5 miktarı gram olarak ne kadar olacaktır?
- 3.138** Rutenyum (II) ve bipiridin $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{N}_2$ içeren bileşikler, güneş enerjisini elektriğe dönüştüren sistemlerdeki önemli rollerinden dolayı büyük ilgi çekmektedirler. $[\text{Ru}(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{N}_2)_3]\text{Cl}_2$ bileşiği rutenyum (III)'ü rutenyum (II)'ye dönüştürmek için, aşırı trietilamin $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3(\text{s})$ ve $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 'nun 3 eşdeğer mol $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{N}_2$ ile tepkimesiyle sentezlenir. Trietilaminin yoğunluğu 0.73 g/mL'dir ve sentezde sekiz eşdeğer mol kullanmıştır (a) 6.5 g $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ile başladığımızı kabul ederseniz tepkimede kullanmanız gereken $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{N}_2$ 'nin gram olarak miktarı ve $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ 'in hacmi nedir? (b) Bu tepkimeye ait verim yüzde 91 ise, $[\text{Ru}(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{N}_2)_3]\text{Cl}_2$ 'den kaç g oluşturulacaktır?
- 3.139 2.40 g X metalinin oksidi (X'in mol kütlesi 55.9 g/mol) karbon monoksit (CO) içerisinde ısıtıldığında saf metal ve karbon dioksit oluşmaktadır. Oluşan metal 1.68 g'dır. Verilen bilgilerden, metal oksit basit formülünün X_2O_3 olduğunu gösteriniz ve tepkimeyi yazarak denkleştiriniz.
- 3.140** Bir X bileşiği kütlece %63.3 mangan (Mn) ve %36.7 O içermektedir. X ileşiği ısıtıldığında oksijen açığa çıkmakta ve yeni bir Y bileşiği oluşmaktadır. Bu Y bileşiği kütlece %72.0 Mn ve %28.0 O içermektedir.

(a) X ve Y bileşiklerinin kaba formüllerin bulunuz. (b) X'in Y'ye dönüştürümü için denkleştirilmiş bir eşitlik yazınız.

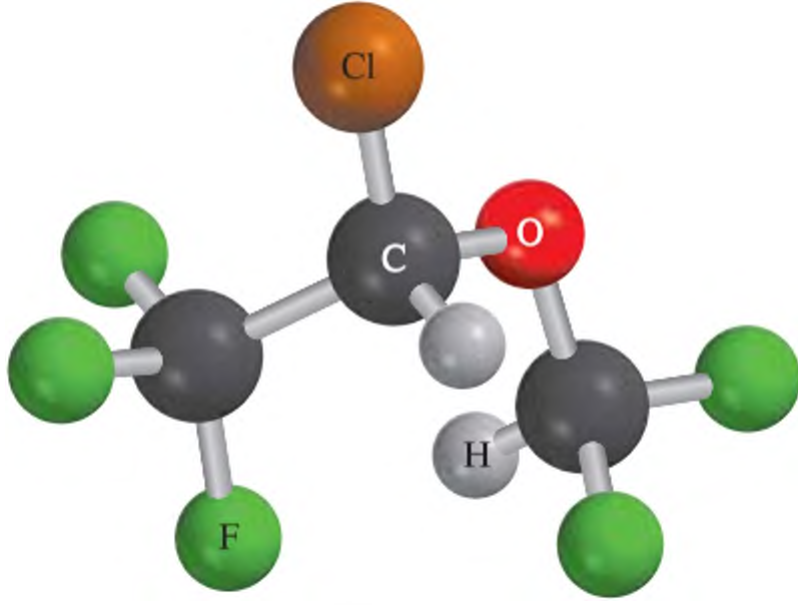
- 3.141 Sulu baryum klorürün formülü $\text{BaCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 'dur. 1.936 g bileşik sülfürik asitle etkileştirildiğinde 1.864 g susuz BaSO_4 verirse, x 'in değerini hesaplayınız.

- 3.142 Mt. St. Helens volkanının patladığı gün (18 Mayıs 1980) yaklaşık 4.0×10^5 ton SO_2 'in atmosfere yayıldığı hesaplanmıştır. Eğer tüm SO_2 sülfürik aside dönüştürülseydi, kaç ton sülfürik asit üretilirdi?

- 3.143 Aşağıda gösterilen sistin insan proteininde bulunan 20 amino asitten biridir. Sistinin molekül formülünü yazınız ve kütlece yüzde bileşimini hesaplayınız.



- 3.144 Aşağıda gösterilen isofloran genel bir nefes (inhalasyon) anesteziğidir. Molekül formülünü yazınız ve kütlece yüzde bileşimini hesaplayınız.



- 3.145 Bir $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ karışımını tüm suyu uçuruluncaya kadar ısıtılmaktadır. 5.020 g'lık örnek ısıtıldığında 2.988 g susuz tuz karışımı verirse, karışımındaki $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yüzdesi nedir?

- 3.146 0.273 g Mg, azot (N_2) atmosferinde ısıtıldığında, bir kimyasal tepkime oluşmaktadır. Oluşan ürün 0.378 g'dır. Mg ve N içeren bileşiğin kaba formülünü bulunuz ve adlandırınız.

- 3.147 13.43 g metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) karışımını oksijen içersinde tamamen yakılmaktadır. Oluşan CO_2 ve H_2O bileşiklerinin toplam kütlesi 64.84 g ise karışımındaki CH_4 kesrini hesaplayınız.

- 3.148 Kurşunlu benzin, araba motorlarındaki "vuruntuyu" önlemek için bir katkı içerir. Kurşunlu benzinde yapılan bir analizde bu katkının karbon, hidrojen ve kurşun(Pb) içerdiği (bu yüzden kurşunlu benzin denir) bulunmuştur. Bu bileşiğin 51.36 gramı Şekil 3.6'daki düzenekteki gibi bir fırında yakılırsa, 55.90 g CO_2 ve 28.61 g H_2O oluşmaktadır. Benzindeki, bu katkı maddesinin kaba formülünü bulunuz.

- 3.149 Problem 3.148'de tanımlanan kurşunlu bileşik çevreye olan zararlı etkisinden dolayı, son yıllarda yerini aynı zamanda benzindeki performansda artıran metil tersiyer butil etere (C, H ve O'dan oluşan bileşik) bıraktı. (Bu bileşikde 1999'den beri, içme sularını kirlettiğinden kademeli olarak kullanımdan kaldırılmaktadır). Bu bileşiğin 12.1 gramı Şekil 3.6'da gösterilen düzenekteki gibi fırında yakılırsa, 30.2 g CO_2 ve 14.8 g H_2O oluşmaktadır. Bileşiğin, kaba formülünü bulunuz.

- 3.150 Size kenar uzunluğu 1.0 cm olan magnezyum metalinden yapılmış bir küp verildiğini düşünün. (a) Küpteki magnezyum atomlarının sayısını hesaplayınız. (b) Atomlar küre şeklinde olduğundan küpteki Mg atomları küpün tüm hacmini dolduramazlar. Mg atomları küp hacminin sadece yüzde 74'ünü doldurabildiğine göre, bir Mg atomunun yarıçapını pikometre biriminde hesaplayınız. (Mg'un yoğunluğu 1.74 g/mL, kürenin hacmi $\frac{4}{3}\pi r^3$ ve r yarıçapı göstermektedir)

- 3.151 Belirli bir kömür örneği kütlece yüzde 1.6 kükürt içerir. Kömür yakıldığında bu kükürt, kükürt dioksit döndürür. Bu kükürt dioksit, hava kirliliğini önlemek için kalsiyum sülfür (CaSO_3) oluşturmak üzere kalsiyum oksitle (CaO) etkileştirilir. Günlük 6.60×10^6 kg kömür kullanan bir elektrik santrali, bu dönüştürme için kaç kg CaO 'e gerek duyar, hesaplayınız?

- 3.152 Hava pek çok gazın bir karışımıdır. Ancak, onun "mol kütlelerini" hesaplamada, yalnızca üç ana bileşen olan azot, oksijen ve argonu dikkate almamız yeterlidir. Deniz seviyesinde bir mol hava yüzde 78.08 azot, yüzde 20.95 oksijen ve yüzde 0.97 argondan oluştuğuna göre, havanın mol kütlesi nedir?

- 3.153 (a) 89.6 g çinko metalinin mol sayısı ile aynı mol sayısına sahip olan kalsiyum metalinin kütlelerini hesaplayınız. (b) 36.9 mol argonla aynı kütleyle sahip olan moleküler florun mol sayısını hesaplayınız. (c) İçinde 0.56 mol oksijen atomu içeren sülfürik asidin kütlesi nedir? (c) İçinde 2.12 g hidrojen atomu içeren fosforik asidin mol sayısını hesaplayınız.

- 3.154 Hidroklorik asit endüstride büyük oranda metallerin pas ve tortularının temizlenmesinde kullanılır. Bu işlem, metal yüzeylerden metal oksitleri uzaklaştırır ve metali metal kaplamasına hazırlar. (a) Demir üzerindeki pas tabakası olarak belirtilen demir (III) oksitle HCl arasındaki tepkimeden demir (III) klo-

rür ile suyun oluşumunu gösteren eşitliği yazınız. (b) 1.22 mol Fe_2O_3 ile 289.2 g HCl tepkimeye girerse, kaç g FeCl_3 oluşur?

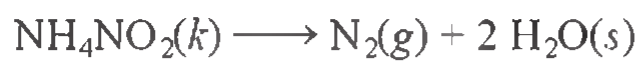
- 3.155 Oktan (C_8H_{18}) benzinin bir bileşenidir. Oktanın tam yanması sonucu H_2O ve CO_2 oluşur. Tam olmayan bir yanmada ise H_2O ve CO oluşur. Tam olmayan yanmada motor etkinliği düşer, ayrıca oluşan ürün CO zehirlidir. Bir deneyde, 1.000 galon oktan motorda yakılmış ve oluşan CO , CO_2 ve H_2O miktarları toplam 11.53 kg bulunmuştur. İşlemin etkinliğini yani CO_2 'e dötüşen oktan kesrini bulunuz. (Oktanin yoğunluğu 2.650 kg/galon).

- 3.156 Sanayide, hidrojen yaklaşık 400°C de gaz propan ve buharın tepkimesiyle hazırlanabilir. Ürünler karbon monoksit (CO) ve hidrojen (H_2) gazlarıdır. (a) Tepkime için bir denkleştirilmiş denklem yazınız. (b) 2.84×10^3 kg propandan kaç kg H_2 üretilebilir?

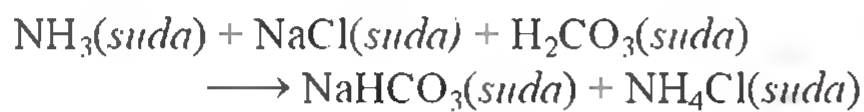
- 3.157 Bir kimyacı karmaşık bir biyolojik molekülü, doğal ürün sentezi için tamamen biyolojik olmayan başlangıç maddelerinden hazırlamaktadır. Bu tür moleküller genellikle tedavide umut verici olarak görülmürler ve sentez sırasında geliştirilen organik tepkimelerden tüm kimyacılar yararlanır. Ancak, seneler birçok adımda gerçekleşir ve bu yüzden her bir adımda mümkün olan en iyi verimleri elde etmek önemlidir. Her bir adımı yüzde 80 ile gerçekleşen 24 adımlık bir sentezde, toplam yüzde verim nedir?

- 3.158 Aşağıdaki ifadelerin her birinde yanlış veya belirsiz olan nedir?

(a) Aşağıda gösterilen tepkimede NH_4NO_2 sınırlayıcı bir reaktiftir.



(b) Aşağıda gösterilen tepkime için sınırlayıcı reaktif NH_3 ve NaCl 'dir.



- 3.159 (a) Küçük kütleli moleküller için, formüllerinin bulunmasında kütle spektrometresi kullanılır. Kütle spektrumunda gözlenen 16 akb, 17 akb, 18 akb ve 64 akb piklerinin hangi molekül ait olabileceklerini bulunuz. (b) CO_2 ve C_3H_8 (her ikisinde 44 akb) gibi

birden çok molekülün aynı yerde pik verebileceğine dikkat ediniz. Böyle bir durumda kimyacılar, moleküllerden bazılarının spektrometrede parçalanıp parçalanmadığına bakarlar. Örneğin, bir kimyacı 44 akb yanında, 15 akb'de ayrı bir pik görüyorsa, 44 akb'deki piki veren molekül CO_2 ve C_3H_8 'den hangisi olabilir? Neden? (c) ^1H (1.00797 akb), ^{12}C (12.00000 akb), ve ^{16}O (15.99491 akb) olarak verilen duyarlı kütleler kullanılarak C_3H_8 ve CO_2 kütleleri birbirlerinden hangi kesinlikle ayrılabilir?

- 3.160 Potas, potasyum içeriğinden dolayı kullanılan bir potasyum mineralidir. Birleşik Devletlerde üretilen potasın çoğu gübre yapımında kullanılır. Potasın ana kaynağı potasyum klorür (KCl) ve potasyum sülfatı (K_2SO_4). Potas üretiminde bu mineral genellikle potasyum oksit (K_2O) cinsinden ifade edilerek verilir. (a) Eğer KCl 'ün kilogramı 0.55 dolara mal olursa, dolar bazında potasyumun aynı miktarını sağlamak için K_2SO_4 (kg başına dolar olarak) kaç satılmalıdır? (b) Kaç kg K_2O , 1.00 kg KCl 'deki K atomlarının mol sayısına eşit sayıda mol K atomu içerir?

- 3.161 Magnezyumun 21.496 gramlık bir örneği, magnezyum oksit ve magnezyum nitrit oluşturmak üzere havada yakılır. Ürünler suyla etkileştirildiğinde, 2.813 g amonyak gazı elde edilir. Oluşan magnezyum nitrit ve magnezyum oksitin miktarını hesaplayınız.

- 3.162 Bir metal kütlece yüzde 53.79 Br içeren bir metal bromür bileşiği meydana getirir. Bileşiğin kimyasal formülü nedir?

- 3.163 15.0 g'lık bir demir örneği, havası boşaltılmış bir kapta potasyum kloratla (KClO_3) ısıtılmıştır. KClO_3 'ün parçalanmasından oluşan oksijen Fe'in bir kısmını Fe_2O_3 'e dönüştürmüştür. Fe ve Fe_2O_3 'ün birlikte kütlesi 17.9 gram ise, ayrılan KClO_3 'ün ve oluşan Fe_2O_3 'ün kütlelerini hesaplayınız.

- 3.164 NaCl , Na_2SO_4 ve NaNO_3 içeren bir örneğin element analiz sonucu şöyledir: yüzde 32.08 Na; yüzde 36.01 O; yüzde 19.51 Cl. Bu örnek içersindeki her bileşiğin kütlece yüzde bileşimini hesaplayınız.

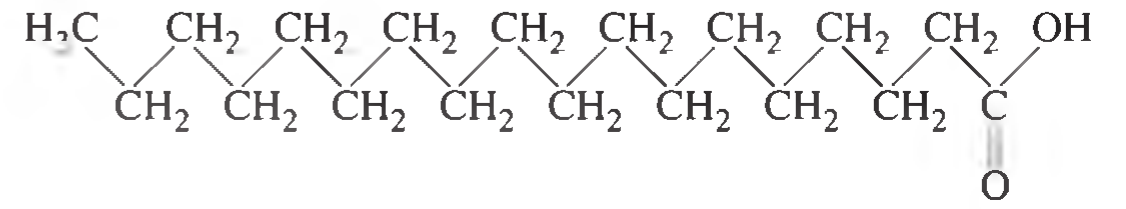
- 3.165 10.00 gramlık bir sodyum örneği oksijenle tepkimeye girmiş ve 13.83 g sodyum oksit (Na_2O) ile sodyum peroksit (Na_2O_2) karışımı oluşturmuştur. Karışımın yüzde bileşimini hesaplayınız.

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 3.166 Oksijen ve fosfor gibi hafif elementlerin izotopları çoğunlukla eşit sayıda proton ve notron içerirken, son zamanlarda nötron zengini izotoplar diye adlandırılan nötron sayısı daha fazla olan hafif elementlerin izotopları elde edilebilmektedir. Bu elektronca zengin izotoplar çok sayıda nötron içeren türler olduklarından "nötron damlama çizgisine" yaklaşırlarken, çekirdek kararlılığı sınırını zorlarlar. Bu tür izotoplar, yıldızların çekirdek tepkimelerinde hayati bir rol oynayabilmektedirler. Alüminyumun olağanüstü bir ağır izotopu (^{47}Al) olduğu ortaya konulmuştur. Bu izotop ortalama bir alüminyum atomuyla karşılaştırıldığında ne kadar fazla nötron bulundurur?
- 3.167 Herhangi bir detaylı hesaplama yapmaksızın, verilen şu maddeleri artan mol sayılarına göre sıralayınız. 20,0 g Cl, 35,0 g Br ve 94,0 g I.
- 3.168 Herhangi bir detaylı hesaplama yapmaksızın, aşağıdaki bileşiklerin her birinde kütlece en yüksek olan elementi belirleyiniz.
- (a) $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$
 (b) NF_3
 (c) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
 (d) $\text{C}_{2952}\text{H}_{4664}\text{N}_{812}\text{O}_{832}\text{S}_8\text{Fe}_4$
- 3.169 Aşağıda verilen tepkimeye göre:
- $$6\text{Li}(k) + \text{N}_2(g) \longrightarrow 2\text{Li}_3\text{N}(k)$$

Herhangi bir detaylı hesaplama yapmaksızın, verilen şu bileşimlerden hangisinde azotun sınırlayıcı bir reaktif olduğunu bulunuz?

- (a) 44 g Li ve 38 g N_2
 (b) 1380 g Li ve 842 g N_2
 (c) 1.1 g Li ve 0.81 g N_2
- 3.170 Bir portakalı bir küp şeklinde ve yer yüzeyini bir kare olarak düşündüğünüzde, yer yüzeyine Avogadro sayısı kadar portakalı yan yana ve üst üste yerleştirirseniz, yüksekliği kaç mil olur?
- 3.171 Avogadro sayısının *büyüklüğünü* kabaca tahmin edebilmek için aşağıdaki stearik asit örneği verilmektedir. Stearik asit ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$) suya eklendiğinde molekülleri suyun yüzeyinde toplanır ve tekli bir tabaka oluşturur. Bu tabaka bir molekül kalınlığındadır. Stearik asit molekülünün kesit alanı 0.21 nm^2 dir. Yapılan bir deneyde 20 cm çapındaki bir kapta bulunan suyu tek bir tabaka kaplamak için 1.4×10^{-4} g stearik asitin gerekli olduğu saptanmıştır. Bu ölçümlere dayanarak, Avogadro sayısı nedir?



Alistirmaların Cevapları

3.1 10,81 akb. 3.2 3,59 mol . 3.3 $2,57 \times 10^3$ g.
 3.4 $8,49 \times 10^{21}$ K atomu. 3.5 32,04 akb. 3.6 1,66 mol.
 3.7 $5,81 \times 10^{24}$ H atomu. 3.8 H: 2,055%; S: %32,69; O: %65,25. 3.9 KMnO_4 (potasyum permanganat).

3.10 196 g. 3.11 B_2H_6 . 3.12 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \longrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$. 3.13 235 g. 3.14 0,769 g. 3.15 (a) 234 g, (b) 234 g.
 3.17 (a) 863 g, (b) %93,0

Sulu Çözelti Tepkimeleri



Minerallerce zengin aşırı ısınmış su okyanus volkanından okyanus tabanına doğru, lavlar arasından çıktığında siyah bacalar oluşur. Okyanus derinliklerindeki hidrojen sülfür, metal iyonlarını az çözünen metal sülfürlere dönüştürür.

Bölüm Başlıkları

- 4.1 Sulu Çözeltilerin Genel Özellikleri
- 4.2 Çökme Tepkimeleri
- 4.3 Asit-Baz Tepkimeleri
- 4.4 Yükseltgenme -İndirgenme Tepkimeleri
- 4.5 Çözeltilerin Derişimi
- 4.6 Gravimetrik Analiz
- 4.7 Asit-Baz Titrasyonları
- 4.8 Redoks Titrasyonları

Toplu Bakış

- Sulu çözelti adı verilen ve maddelerin suda çözünmesi ile hazırlanan çözeltilerin özelliklerinin incelenmesi ile başlayacağız. Sulu çözeltiler, elektriği iletme yeteneğine göre elektrolit veya elektrolit olmayan çözeltiler olarak sınıflandırılabilir (4.1).
- Çökme tepkimelerinde oluşan ürünlerin çözünmeyen bileşikler olduğunu göreceğiz. Bu tepkimeleri, iyonik eşitlikler ve net iyonik eşitlikler kullanarak ifade etmeyi öğreneceğiz. (4.2)
- Daha sonra, bir asitten bir baza proton (H^+) aktarımını içeren asit-baz tepkimelerini öğreneceğiz. (4.3)
- Tepkenler arası elektron aktarımını içeren indirgenme- yükseltgenme (redoks) tepkimelerini öğreneceğiz. Bir kaç çeşit redoks tepkimeleri olduğunu göreceğiz. (4.4)
- Çözeltilerin nicel olarak incelenmesi için, çözelti derişiminin molarite cinsinden nasıl ifade edileceğini öğreneceğiz. Son olarak, Bölüm 3'deki mol yöntemi bilgilerimizi, burada öğrenilecek olan üç tür tepkimede uygulayacağız. Gravimetrik analizin çökme tepkimelerinde, titrasyon tekniğinin asit-baz ve redoks tepkimelerinin incelenmesinde nasıl kullanıldığını göreceğiz. (4.6, 4.7, ve 4.8)

Kimyasal tepkimelerin çoğu ve biyolojik işlemlerin tamamı sulu ortamda gerçekleşir. Bu bölümde, sulu çözeltilerde meydana gelen üç ana tepkimeyi tartışacağız. Bunlar çökme tepkimeleri, asit-baz tepkimeleri ve redoks tepkimeleridir. Daha sonraki bölümlerde *evrensel çözücü olarak tanımlanan suyun* ve çözeltilerinin yapısal özelliklerini öğreneceğiz.

4.1 Sulu Çözeltilerin Genel Özellikleri

Çözelti iki veya daha fazla maddenin homojen bir karışımıdır. *Çözeltide az miktarda bulunan madde çözünen, fazla miktarda bulunan madde ise çözücüdür.* Bir çözelti gaz (hava gibi), katı (alaşım gibi) veya sıvı (deniz suyu gibi) olabilir. Bu bölümde sadece *çözünen maddenin başlangıçta sıvı ya da katı, çözücünün su olduğu sulu çözeltileri* inceleyeceğiz.

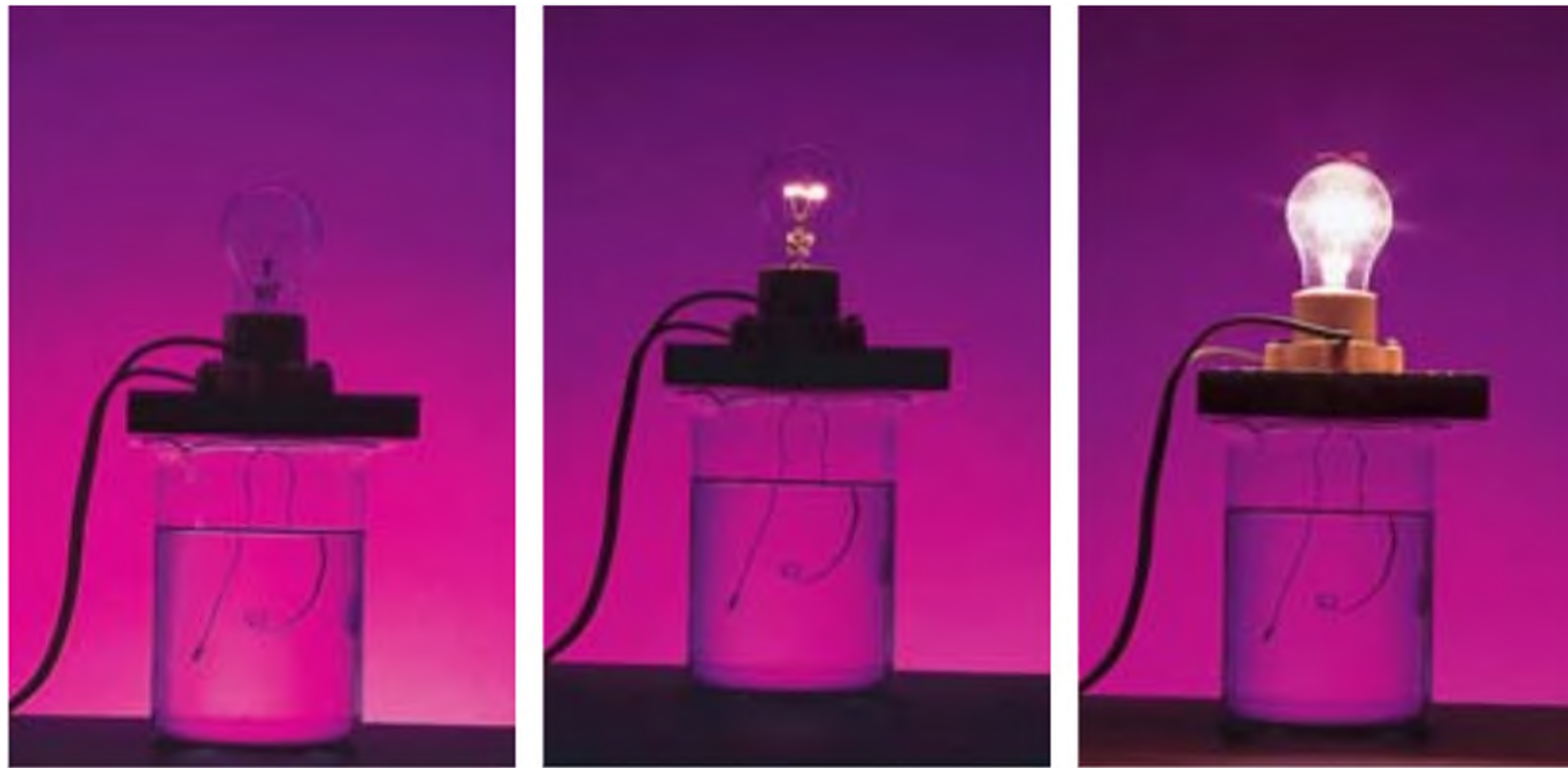
Elektrolitik Özellikler

Suda çözünen tüm maddeler elektrolit ve elektrolit olmayanlar diye iki sınıfa ayrılırlar. **Elektrolit**, suda çözüldüğünde elektriği ileten bir çözelti oluşturan maddedir. **Elektrolit olmayan maddeler** ise suda çözüldüğünde elektrik akımını iletmezler. Şekil 4.1’ de elektrolit ve elektrolit olmayan maddelerin ayırt edilmesi için kolay ve basit bir yöntem gösterilmektedir. Burada, bir çift soy metal elektrot (bakır veya platin), içinde su bulunan bir beher içerisine daldırılır. Ampulün yanması için elektrik akımının bir elektrottan diğer elektrota doğru akarak devreyi tamamlaması gerekir. Saf su çok zayıf bir iletkenidir. ancak üzerine, az miktarda sodyum klorür (NaCl) eklenirse, tuz suda çözünür çözünmez ampul yanar. İyonik bir bileşik olan katı NaCl suda çözüldüğünde Na^+ ve Cl^- iyonlarına ayrışır. Na^+ iyonları negatif elektrota, Cl^- iyonları pozitif elektrota doğru çekilirler. Bu iyon hareketi, metal bir telde akan elektronlara eşdeğer bir elektrik akımı oluşturur. NaCl çözeltisi elektrik akımını ilettiği için NaCl ’ün bir elektrolit olduğunu söyleriz. Saf su ise çok az iyon içerdiğinden elektrik akımını iletmez.

Aynı mol miktarlarında çözülmüş maddelerin ampul parlaklıklarının karşılaştırılması bize kuvvetli ve zayıf elektrolitlerin ayırt edilmesinde yardımcı olur. Kuvvetli elektrolitlerin en karakteristik özelliği, çözeltide iyonlarına yüzde yüz ayrışan katı ola-

Çeşme suyu içinde bir hayli çözülmüş iyon olduğundan elektriği iletir.

Animasyon
Kuvvetli elektrolitler, zayıf elektrolitler, elektrolit olmayanlar.



(a)

(b)

(c)

Şekil 4.1 Elektrolit ve elektrolit olmayan türlerin ayırt edilebilmesi için bir düzenek. Bir çözeltinin elektrik akımını iletmesinin ölçüsü, içermiş olduğu iyon sayısına bağlıdır. (a) Elektrolit olmayan bir çözelti iyon içermez ve lamba ışık vermez. (b) Zayıf elektrolit çözeltisi az sayıda iyon içerir ve lamba zayıf ışık verir. (c) Kuvvetli elektrolit çözeltisi çok sayıda iyon içerir ve lamba parlak ışık verir. Her üç durumda da çözünen türlerin mol sayıları aynıdır.

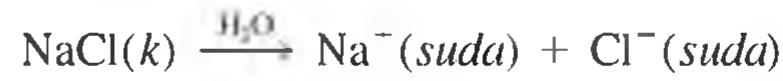
Çizelge 4.1 Suda Çözünen Maddelerin Sınıflandırılması

Kuvvetli Elektrolit	Zayıf Elektrolit	Elektrolit Olmayanlar
HCl	CH ₃ COOH	(NH ₂) ₂ CO (üre)
HNO ₃	HF	CH ₃ OH (metanol)
HClO ₄	HNO ₂	C ₂ H ₅ OH (etanol)
H ₂ SO ₄ *	NH ₃	C ₆ H ₁₂ O ₆ (glukoz)
NaOH	H ₂ O [†]	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (sakkaroz)
Ba(OH) ₂		
İyonik bileşikler		

*H₂SO₄ iki tane iyonlaşabilen H⁺ iyonuna sahiptir, fakat H⁺ iyonlarından sadece bir tanesi tam olarak iyonlaşır.

[†] Saf su son derece zayıf bir elektrolittir.

rak kabul edilmeleridir. (Ayrışma deyince çözünen maddenin katyon ve anyonlarına iyonlaştığını anlarız). Buna göre sodyum klorürün suda çözünmesini

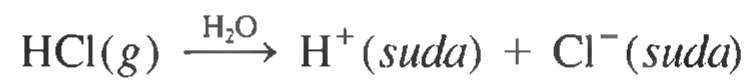


olarak ifade edebiliriz. Bu eşitlik sulu çözeltide bulunan sodyum klorürün tamamının Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarına ayrıştığını ve çözeltide ayrılmamış NaCl olmadığını ifade eder.

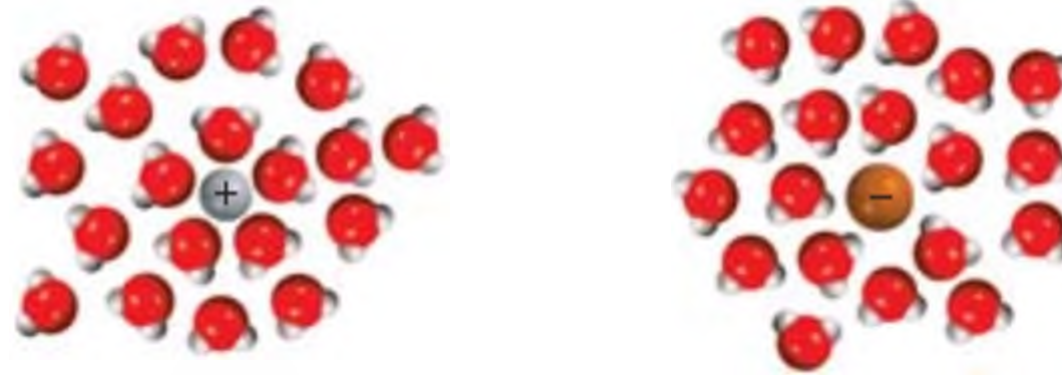
Çizelge 4.1’de kuvvetli elektrolit, zayıf elektrolit ve elektrolit olmayan bazı maddelerin örnekleri verilmiştir. Sodyum klorür, potasyum iyodür (KI) ve kalsiyum nitrat [Ca(NO₃)₂] gibi iyonik bileşikler kuvvetli elektrolittirler. İnsan vücudundaki sıvıların çok sayıda kuvvetli ve zayıf elektrolit içermesi ilgi çekicidir.

Su, iyonik bileşikler için çok etkin bir çözücüdür. Su elektriksel olarak nötr bir molekül olmasına karşın, pozitif bir bölge (H atomları) ve negatif bir bölge (O atomları) bulundurur. Başka bir ifadeyle pozitif ve negatif “kutuplar” içerir ve bu nedenle *polar* bir çözücüdür. Sodyum klorür gibi iyonik bir bileşik suda çözüldüğünde, katıda bulunan üç boyutlu iyon örgüsü bozulur. Na⁺ ile Cl⁻ iyonları birbirinden ayrılır ve *bir iyonun belirli bir yönelmeyle su molekülleri tarafından sarılması olarak tanımlanan hidratlaşma* gerçekleşir. Her bir Na⁺ iyonu, negatif uçlarını katyona doğru yönlendiren birçok sayıda su molekülü tarafından kuşatılır. Benzer şekilde, Cl⁻ iyonları, pozitif uçlarını anyona yönlendiren su molekülleriyle sarılırlar (Şekil 4.2) Hidratlaşma çözeltideki iyonların kararlı olmasına yardımcı olur ve katyonlarla anyonların birleşmesini engeller.

Asitler ve bazlar da elektrolittirler. Hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO₃) gibi bazı asitler kuvvetli elektrolittirler. Bu asitlerin suda tamamen iyonlaştıkları kabul edilir. Örneğin, hidrojen klorür gazı suda çözüldüğü zaman hidratlaşmış H⁺ ve Cl⁻ iyonları oluşur:



Başka bir ifadeyle, çözeltide çözülmüş bütün HCl molekülleri hidratlaşmış H⁺ ve Cl⁻ iyonlarına ayrışırlar. Bu yüzden, HCl(suda) yazdığımız zaman çözeltinin yalnızca

Şekil 4.2 Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının hidratlaşması

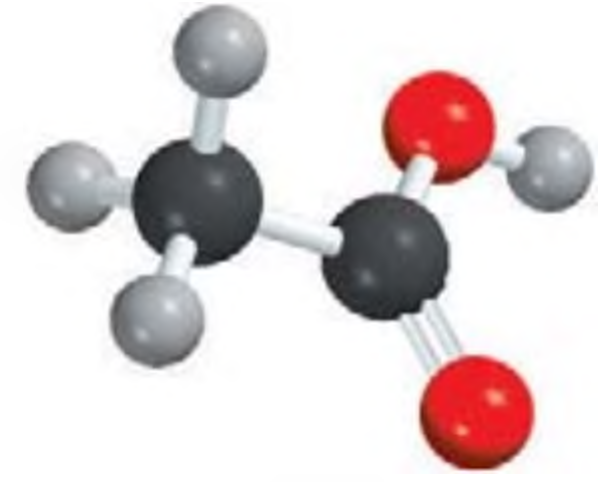
Animasyon
Hidratlaşma

H⁺(suda) ve Cl⁻(suda) iyonları içerdiği ve hidratlaşan HCl molekülü bulunmadığı anlaşıyor. Diğer yandan, sirkeye mayhoş tadını veren asetik asit gibi bazı asitler tam olarak iyonlaşmazlar ve bunlar zayıf elektrolitlerdir. Asetik asidin iyonlaşmasını



olarak ifade ederiz. Burada CH₃COO⁻,asetat iyonu olarak adlandırılır. *İyonlaşma* terimini, asit ve bazların iyonlarına ayrılması anlamında kullanıyoruz. Asetik asidin formülünü CH₃COOH şeklinde yazarak, iyonlaşabilen protonun COOH grubunda bulunduğunu belirtiriz.

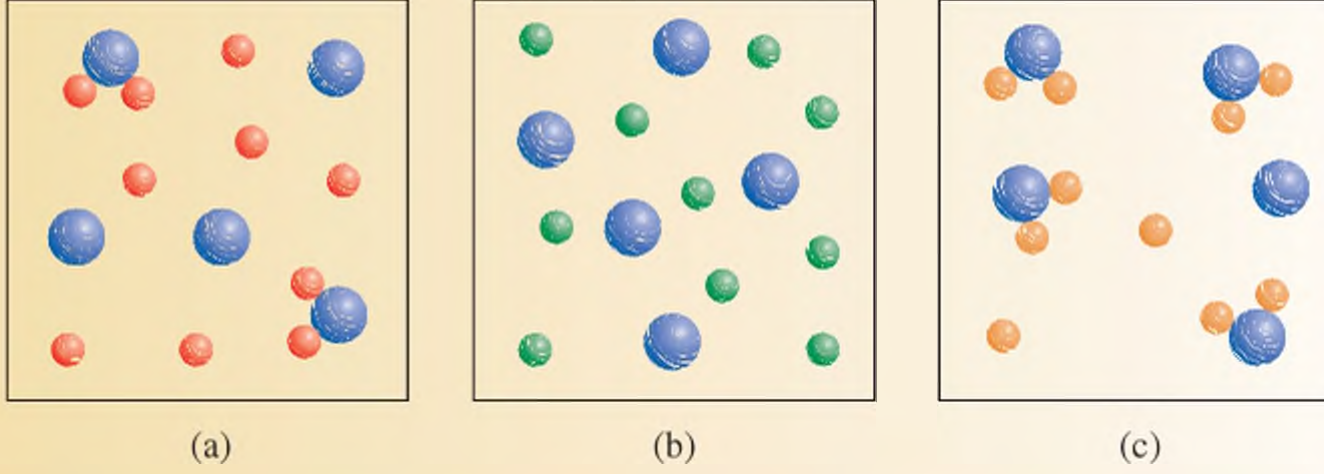
Asetik asidin iyonlaşması çift yönlü ok ile yazılmıştır. Çift yönlü ok, *tepkimenin tersinir* olduğu ve *her iki yönde de yürütebileceğini ifade eder*. Başlangıçta CH₃COOH moleküllerinin bir kısmı CH₃COO⁻ ve H⁺ iyonlarına ayrışır. Zaman ilerledikçe CH₃COO⁻ ve H⁺ iyonlarının bir kısmı tekrar CH₃COOH molekülüne birleşirler. Sonunda, asit moleküllerinin ayrışma hızlarının, birleşme hızlarına eşit olduğu bir duruma ulaşılır. Net bir değişimin gözlenmediği bu kimyasal hal (moleküler anlamda sürekli bir değişim olmasına karşın) *kimyasal denge* diye adlandırılır. Asetik asidin sudaki iyonlaşması tam olmadığından zayıf bir elektrolittir. Bunun aksine hidroklorik asit çözeltisinde ayrışan H⁺ ve Cl⁻ iyonlarının tekrar birleşerek HCl molekülünü oluşturma eğilimleri yoktur yani ayrışma tek yönlüdür. Tam iyonlaşma tek yönlü ok ile gösterilir.

CH₃COOH

Kimyasal dengenin farklı türleri vardır. Bu önemli konuya Bölüm 14' de yeniden döneceğiz.

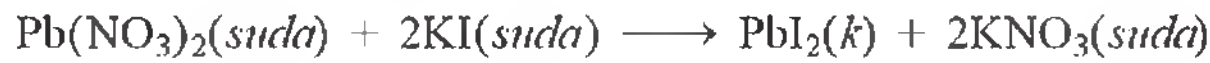
Kavramların Değerlendirilmesi

Diagram suda çözülmüş üç bileşiği (a) AB₂, (b) AC₂ ve (c) AD₂ göstermektedir. Hangisi en kuvvetli, hangisi en zayıf elektrolittir? (Kolaylık açısından su molekülleri gösterilmemiştir.)



4.2 Çökme Tepkimeleri

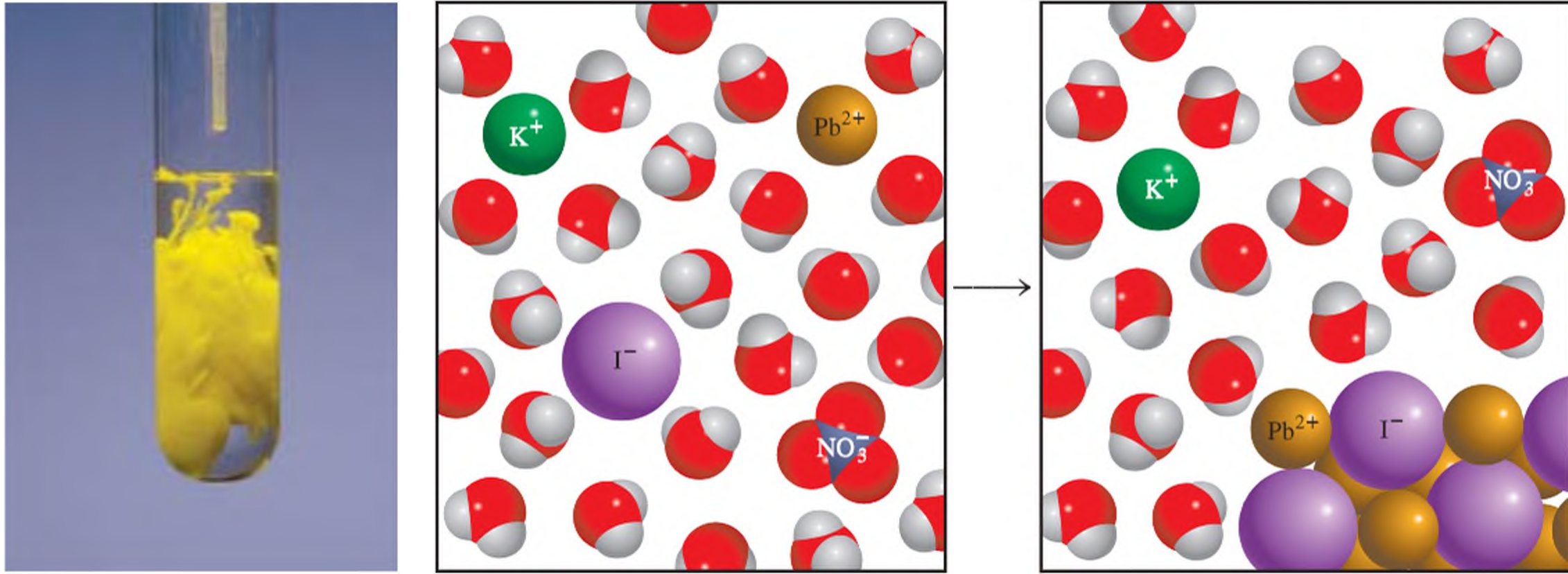
Çökme tepkimesi, sulu çözeltide çözünmeyen tırtın ya da çökelek oluşturan yaygın bir tepkime türüdür. **Çökelek**, çözeltiden ayrılan çözünmeyen bir katıdır. Çökme tepkimeleri genellikle iyonik bileşikler içerirler. Örneğin; kurşun(II) nitratın [Pb(NO₃)₂] sulu çözeltisi, potasyum iyodürüm (KI) sulu çözeltisine ilave edildiği zaman sarı renkli kurşun(II) iyodür (PbI₂) çökeleği oluşur.



Potasyum nitrat çözeltide kalır. Şekil 4.3 bu tepkimenin oluşumunu gösterir.

Bu tepkime iki bileşiğin bazı kısımlarının yer değiştirmeleriyle yürüten *metatez tepkimesine* (çiftli yer değiştirme tepkimesi) bir örnektir. Bu durumda iki bileşikteki katyonlar anyonlarını değiştirmiş, yani Pb²⁺ ile I⁻ iyonları PbI₂ olarak, K⁺ ise NO₃ ile KNO₃ olarak sonlanmışlardır. Bu bölümde göreceğimiz çökme tepkimeleri metatez tepkimesi örnekleridir.

Animasyon
Çökme Tepkimeleri



Şekil 4.3 KI çözeltisine $Pb(NO_3)_2$ çözeltisi ilave edildiğinde sarı renkli PbI_2 çökeleğinin oluşması.

Çözünürlük

Bir çözeltiye bir bileşik eklendiğinde ya da iki çözelti karıştırıldığında bir çökeleğin oluşup oluşmayacağını nasıl anlayabiliriz? Bu durumu çözünen türün çözünürlüğüne bağlıdır. **Çözünürlük**, belirli bir sıcaklıkta *belirli miktardaki çözücüde çözünebilen maksimum çözünen madde miktarı* olarak tanımlanır. Kimyacılar maddeleri nitel anlamda “çözünen, az çözünen ve hiç çözünmeyen” diye sınıflandırır. Bir madde suya ilave edildiğinde önemli oranda çözünürse, çözünür olarak kabul edilir. Bunun tersi durumda ise, az çözünür veya çözünmez olarak adlandırılır. Bütün iyonik bileşikler kuvvetli elektrolitler, ancak eşit miktarlarda çözünmezler.

Çizelge 4.2’de çok bilinen bazı iyonik bileşiklerin çözünür ve çözünmez olarak sınıflandırılması yer almaktadır. Ancak çözünmeyen bileşiklerin de belirli bir oranda çözündüğünü unutmayınız. Şekil 4.4 bazı çökelekleri göstermektedir.

Çizelge 4.2 25°C’de Bazı Yaygın İyonik Bileşiklerin Suda Çözünebilme Kuralları

Çözünebilen Bileşikler	Çözünmeyen İstisnalar
Aşağıdakileri içeren bileşikler: Alkali metal iyonları (Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+) ve amonyum iyonu (NH_4^+) Nitratlar (NO_3^-), asetatlar (CH_3COO^-), bikarbonatlar (HCO_3^-), kloratlar (ClO_3^-), perkloratlar (ClO_4^-) Halojenürler (Cl^- , Br^- , I^-) Sülfatlar (SO_4^{2-})	Ag^+ , Hg_2^{2+} ve Pb^{2+} halojenürleri Ag^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Hg_2^{2+} ve Pb^{2+} sülfatları
Az çözünen bileşikler	Çözünen İstisnalar
Karbonatlar (CO_3^{2-}), fosfatlar (PO_4^{3-}), kromatlar (CrO_4^{2-}), sülfidler (S^{2-}) Hidroksitler (OH^-)	Alkali metal iyonları ve amonyum iyonunu içeren bileşikler Alkali metal iyonları ve Ba^{2+} iyonunu içeren bileşikler



Şekil 4.4 Çeşitli çökeleklerin görünümü. Soldan sağa: CdS, PbS, Ni(OH)₂ ve Al(OH)₃

Örnek 4.1 Çizelge 4.2'deki çözünürlük kurallarının uygulamasıyla ilgilidir.

Örnek 4.1

Aşağıdaki iyonik bileşikleri çözünen ve az çözünen olarak sınıflandırınız: (a) gümüş sülfat (Ag₂SO₄), (b) kalsiyum karbonat (CaCO₃), (c) sodyum fosfat (Na₃PO₄).

İzlenecek Yol Bütün bileşiklerin çözünürlüklerini ezberlemek gereksiz olmakla beraber, şu yararlı kurallar unutulmamalıdır: Alkali metal katyonları, amonyum iyonu, nitrat, bikarbonat, klorat iyonlarını içeren bütün iyonik bileşikler suda çözünürlürlükler. Diğer bileşikler için Çizelge 4.2'ye bakınız.

Çözüm (a) Çizelge 4.2'ye göre Ag₂SO₄ suda az çözünür.

(b) Ca elementi. 2A Grubunda bulunan bir metaldir. Bundan dolayı CaCO₃ suda az çözünür.

(c) Sodyum bir alkali metaldir (1A Grubu) ve Na₃PO₄ suda çözünür.

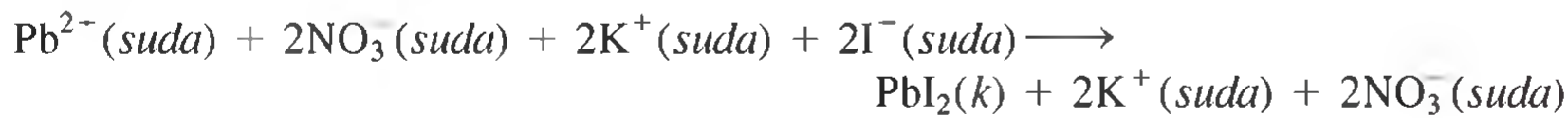
Alıştırma Aşağıdaki iyonik bileşikleri çözünen ve çözünmeyen olarak sınıflandırınız: (a) CuS, (b) Mg(OH)₂, (c) Zn(NO₃)₂.

Benzer problemler: 4.19, 4.20.

Moleküler Eşitlikler, İyonik Eşitlikler ve Net İyonik Eşitlikler

Sayfa 121'de kurşun iyodürün çökmesini gösteren eşitlik, bütün türlerin molekül ya da formül birimi olarak yazılmasından dolayı **moleküler eşitlik** olarak ifade edilir. Moleküler eşitlik, tepkenleri göstermesi bakımından faydalıdır (kurşun nitrat ve potasyum iyodür gibi). Eğer bu tepkimeyi laboratuvar ortamında uygulamak istersek moleküler eşitliği kullanabiliriz. Ancak, moleküler eşitlik mikroskobik seviyede gerçekte ne olduğunu ayrıntılı olarak belirtmez.

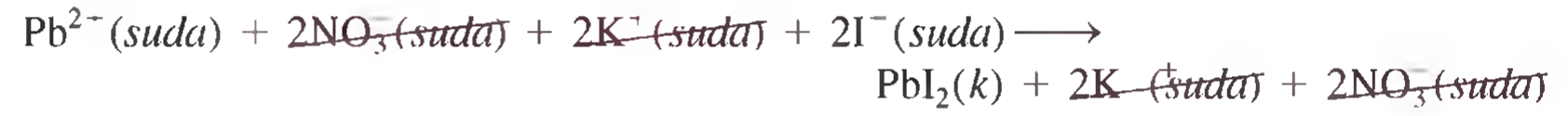
Daha önce belirtildiği gibi, iyonik bileşikler suda çözüldüklerinde katyon ve anyon şeklinde bileşenlerine ayrılırlar. Daha gerçekçi olması için, kimyasal eşitliklerin çözülmüş iyonik bileşiklerin iyonlarına ayrışmasını göstermesi gerekir. Buna göre, potasyum iyodür ile kurşun nitrat arasındaki tepkimeye geri dönersek bu eşitliği aşağıdaki şekilde yazabiliriz.



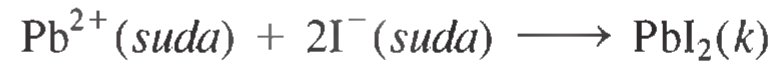


Şekil 4.5 $BaSO_4$ çökeleğinin oluşumu.

Yukarıdaki eşitlik, *çözünen türleri serbest iyonlar olarak gösteren iyonik eşitliğe iyi* bir örnektir. İyonik eşitlik, tepkimede işlevi olmayan iyonları da içerir. Bu çözeltide çökelek oluşup oluşmayacağını anlamak için öncelikle farklı bileşiklerin anyon ve katyonlarını birleştiririz. Bunlar PbI_2 ve KNO_3 'dür. Çizelge 4.2'ye bakıldığında PbI_2 'ün az çözünür, KNO_3 'ün ise çözünür olduğunu görürüz. Dolayısı ile çözünen KNO_3 çözelti içinde K^+ ve NO_3^- iyonları olarak bulunur. Bunlara *gözlemci iyonlar* veya *toplam tepkime de yer almayan iyonlar* denir. Gözlemci iyonlar eşitliğin her iki yanında da yer aldıklarından iyonik eşitlikten çıkarılabilirler.



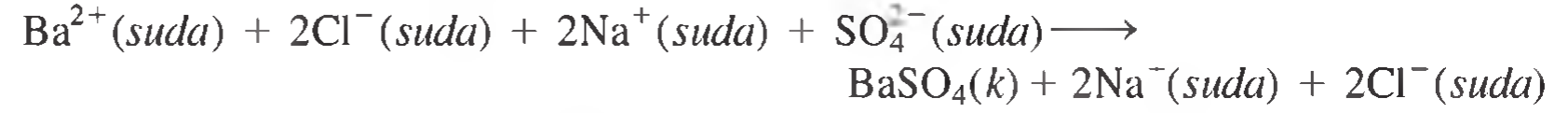
Sonuç olarak sadece tepkimeye katılan türleri dikkate alarak *net iyonik eşitliği* elde ederiz.



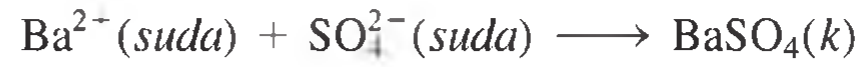
Diğer bir örnekte ise baryum klorür ($BaCl_2$) sulu çözeltisini, sodyum sülfat (Na_2SO_4) sulu çözeltisine ilave edildiğimizde beyaz renkte baryum sülfat ($BaSO_4$) çökeleğinin oluştuğunu gözleriz (Şekil 4.5). Bunu bir metatez tepkimesi olarak değerlendirdiğimizde, ürünler $BaSO_4$ ve $NaCl$ 'dir. Bu tepkime için moleküler eşitlik,



olarak yazılır. İyonik eşitlik aşağıdaki gibidir.



Gözlemci iyonların (Na^+ ve Cl^-) eşitliğin her iki yanından çıkartılması ile geride net iyonik eşitlik kalır.



İyonik ve net eşitlikleri yazmak için izlenmesi gereken dört basamak aşağıda özetlemiştir:

1. İyonik tepken ve ürünlerin doğru formüllerini kullanarak tepkimenin denkleşmiş moleküler eşitliğini yazınız. Çizelge 4.2'den yararlanarak hangi ürünlerin çözünmez olduğuna, dolayısı ile çökelek oluşturacağını karar veriniz.
2. Tepkime için iyonik eşitliği yazınız. Çökelek oluşturmeyen iyonları serbest iyon olarak gösteriniz.
3. Gözlemci iyonları belirleyip eşitliğin her iki tarafından çıkartınız. Net iyonik eşitliği yazınız.
4. Net iyonik eşitlikteki yükleri ve atom sayılarını kontrol ediniz.

Bu basamaklar Örnek 4.2'de uygulanmıştır.



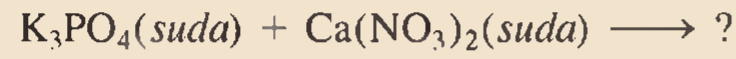
$K_3PO_4(suda)$ ile $Ca(NO_3)_2(suda)$ arasındaki tepkime ile oluşan çökelek.

Örnek 4.2

Potasyum fosfat (K_3PO_4) çözeltisi ile kalsiyum nitrat [$Ca(NO_3)_2$] çözeltisi karıştırıldığında ne olacağını tahmin ediniz. Bu tepkime için net iyonik eşitliği yazınız.

(Devamı)

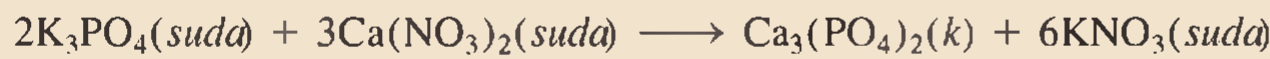
İzlenecek Yol Verilen bilgiden, önce denkleştirilmemiş eşitliğin yazılması yararlı olacaktır.



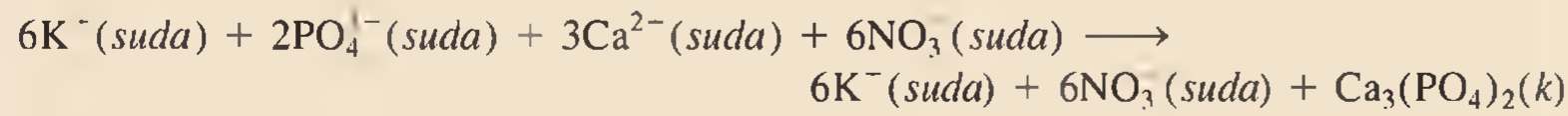
İyonik bileşikler suda çözüldüğü zaman ne olur? K_3PO_4 ve $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 'ın ayrışmasından hangi iyonlar oluşur? Çözeltide katyonlarla anyonlar karşılaşınca ne olur?

Çözüm Çözeltide K_3PO_4 ; K^+ ve PO_4^{3-} iyonlarına, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ise Ca^{2+} ve NO_3^- iyonlarına ayrışır. Çizelge 4.2'ye göre Ca^{2+} ve PO_4^{3-} iyonları suda az çözünen $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ bileşiğini oluşturacaktır. Diğer ürün olan KNO_3 ise çözeltide çözülmüş olarak kalacaktır. Buna göre, bu tepkime bir çökme tepkimesidir. Daha önce belirtilen basamakları takip ederiz.

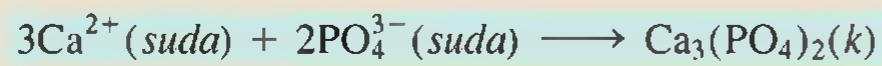
Adım 1: Bu tepkimenin denkleştirilmiş moleküler eşitliğini yazarız.



Adım 2: Çözünen bileşiklerin ayrılmış iyonlar olarak gösterildiği iyonik eşitliği yazarız.



Adım 3: Gözlemci iyonların (K^+ ve NO_3^-) eşitliğin her iki yanından çıkartılması ile net iyonik eşitliği elde ederiz.



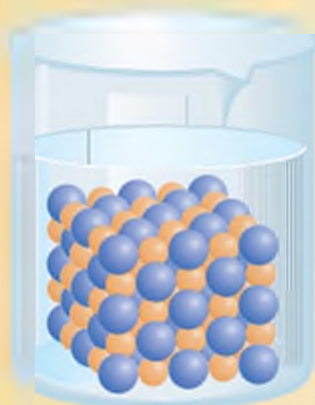
Adım 4: Moleküler eşitliği daha önceden denkleştirdiğimizden, eşitliğin her iki tarafındaki atom sayıları ve eşitliğin sol tarafındaki pozitif (+6) ve negatif (-6) yükler eşit olup, net iyonik eşitlik denktir.

Alıştırma $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ çözeltisi ile NaOH çözeltisi karıştırıldığında hangi çökeleğin oluştuğunu tahmin ederek, tepkimenin net iyonik eşitliğini yazınız?

Benzer problemler: 4.21, 4.22.

Kavramların Değerlendirilmesi

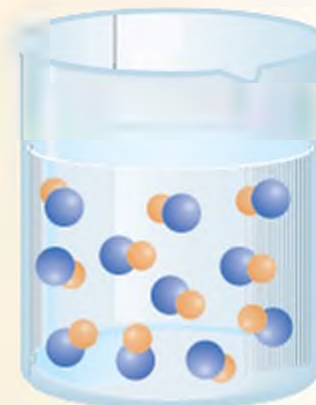
Aşağıdaki gösterimlerden hangisi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{suda})$ ve $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{suda})$ arasında gerçekleşen tepkimeyi tam olarak açıklar? Kolaylık olması açısından sadece Ca^{2+} (sarı) ve CO_3^{2-} (mavi) iyonları gösterilmiştir.



(a)



(b)

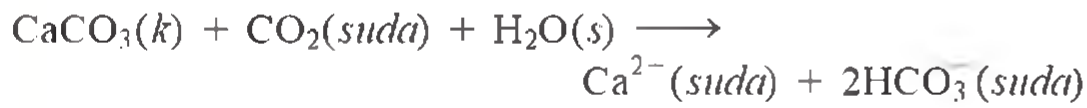


(c)

Sayfa 126'daki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasında çökme tepkimeleriyle ilgili bazı güncel örnekler tartışılmaktadır.

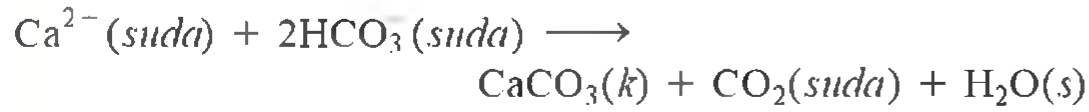
İstenmeyen Çökme Tepkimeleri

Dünya yüzeyinde yaygın olarak bulunan kireç taşı (CaCO_3) ve dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) çoğunlukla su kaynaklarına karışır. Çizelge 4.2'ye göre kalsiyum karbonat suda az çözünür. Buna karşın, çözünmüş karbon dioksit (atmosferden) varlığında suda çözünebilen kalsiyum bikarbonata [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$] dönüşür. Burada HCO_3^- , bikarbonat iyonudur.



Ca^{2+} ve /veya Mg^{2+} içeren su *sert su*, bu iyonları içermeyen su ise yumuşak su olarak adlandırılır. Sert su bazı evsel ve endüstriyel kullanımlar için uygun değildir.

Ca^{2+} ve HCO_3^- iyonlarını içeren su ısıtıldığında ya da kaynatıldığında, yukarıdaki tepkime CaCO_3 çökeleşini oluşturmak üzere geriye döner,



ve karbon dioksit gazı açığa çıkar:

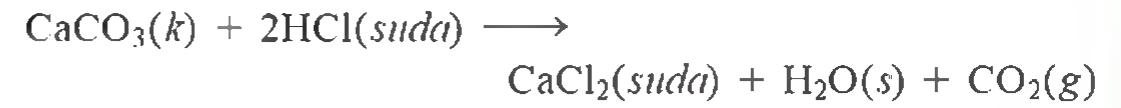


Bu şekilde oluşan kalsiyum karbonat kazanlarda, su ısıtıcılarında, borularda ve çaydanlıklarda biriken tabakanın ana bileşenidir. Kalın tabaka, ısı transferini kazanların, boruların ve aletlerin verimini ve dayanıklılığını azaltır. Bu durum evlerdeki sıcak su borularındaki su akışını kısıtlayabilir veya tamamen engelleyebilir. Bu tabaka birikintilerini uzaklaştırmak için tes-



Kazan taşı, neredeyse sıcak su borusunu tıkaştırır. Bu birikinti başlıca CaCO_3 ve bir miktar MgCO_3 'den oluşur.

satçılar tarafından uygulanan basit bir yöntem, CaCO_3 ile tepkimeye giren (dolayısı ile onu çözen) hidroklorik asidin az miktarda kullanılmasıdır.



Böylece CaCO_3 , suda çözünebilen CaCl_2 bileşiğine dönüşür.

4.3 Asit–Baz Tepkimeleri

Bir asit olan aspirin ve bir baz olan magnezya sütü bize tanıdık gelmekle birlikte, bunların kimyasal adlarının asetilsalisilik asit (aspirin) ve magnezyum hidroksit (magnezya sütü) olduğunu çoğumuz bilmeyiz. İlaç ve ev ürünlerinin temel maddesi olmaları yanında, asit – baz kimyası endüstriyel işlemler ve biyolojik sistemlerin sürdürülebilirlikleri açısından oldukça önemlidir. Asit- baz tepkimelerini incelemeye başlamadan önce asit ve bazlar hakkında daha fazla bilgiye ihtiyacımız vardır.

Asit ve Bazların Genel Özellikleri

Kesim 2.7'de suda H^+ iyonu vererek iyonlaşan maddeleri asit ve OH^- iyonu vererek iyonlaşan maddeleri baz olarak tanımlamıştık. Bu tanım 19.yüzyıl sonlarında İsveçli

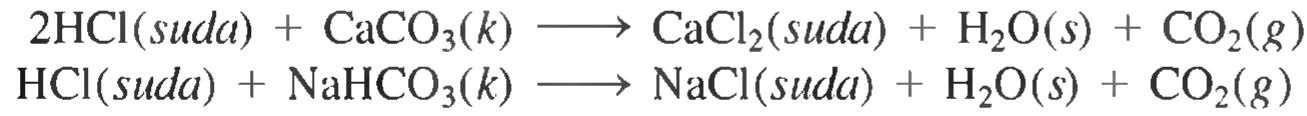
kimyacı Svante Arrhenius¹ tarafından sulu çözeltilerde özellikleri iyi bilinen maddelerin sınıflandırılmasıyla ortaya konmuştur.

Asitler

- Asitlerin tadı ekşidir. Örneğin: sirkenin ekşiliği asetik asit yüzündendir. Limon ve diğer turunçgiller sitrik asit içerir.
- Asitler bitkisel boyalarda renk değişimine neden olurlar. Örneğin, mavi turnusol kağıdının rengini kırmızıya çevirirler.
- Asitler çinko, magnezyum ve demir gibi metallerle tepkimeye girerek hidrojen gazı açığa çıkarlar. Örneğin hidroklorik asit ve magnezyum arasında meydana gelen tepkime şöyledir:



- Asitler karbonatlarla (Na_2CO_3 , CaCO_3 gibi) ve bikarbonatlarla (NaHCO_3 gibi) tepkimeye girerek CO_2 gazı açığa çıkarırlar (Şekil 4.6). Örneğin:



- Sulu asit çözeltileri elektrik akımını iletirler.

Bazlar

- Bazların tadı acıdır.
- Bazlar kayganlık hissi verirler. Örneğin sabunlar baz içerdiklerinden, bu özelliği gösterirler.
- Bazlar bitkisel boyalarda renk değişimine neden olurlar. Örneğin kırmızı turnusol kâğıdının rengini maviye çevirirler.
- Sulu baz çözeltileri elektrik akımını iletirler.

Brønsted Asit ve Bazları

Arrhenius'un asit ve baz tanımı sadece sulu çözeltilere uygulandığı için dar kapsamıdır. Daha kapsamlı bir asit ve baz tanımı 1932 yılında Danimarkalı kimyacı Johannes Brønsted¹ tarafından önerilmiştir. Buna göre, **Brønsted asidi proton veren**, **Brønsted bazı ise proton alan** maddedir. Brønsted tanımına göre asit ve bazların sulu çözeltilerde bulunma zorunluluğu olmadığına dikkat edilmelidir.

Hidroklorik asit sulu ortamda bir proton verdiği için Brønsted asididir.



Hidrojen iyonu elektronunu kaybetmiş hidrojen atomu olup, bu iyonun yalnızca çıplak bir proton olduğuna dikkat ediniz. Protonun boyutu 10^{-15} m dolayında olup aslında ortalama bir atom ya da iyonun boyutu yaklaşık olarak 10^{-10} m çapındadır. Protonlar, son derece küçük tanecikler olduğundan ve suyun negatif kutbu (O atomu) ile kuv-

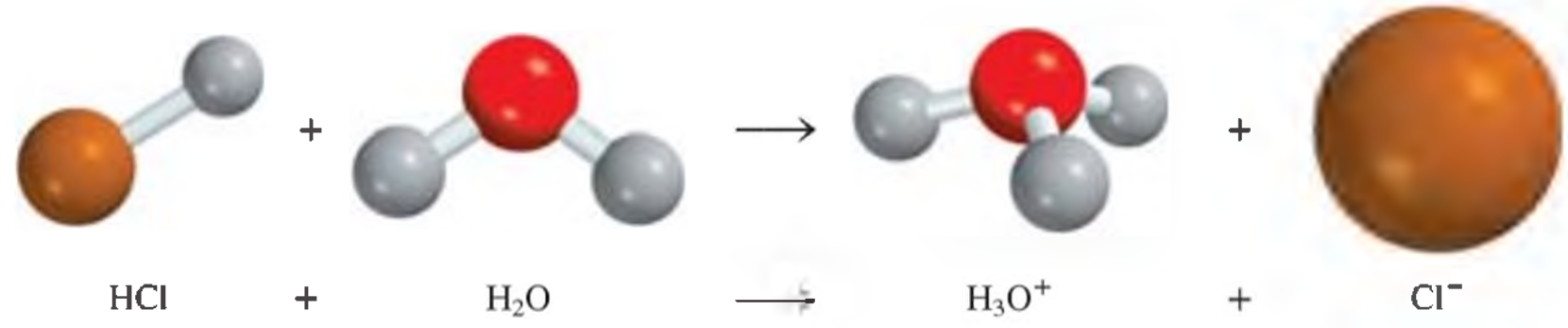


Şekil 4.6 Tebeşirde en çok CaCO_3 vardır ve hidroklorik asit ile tepkimeye girdiğinde karbon dioksit gazı açığa çıkar.

¹Svante August Arrhenius (1859–1927). İsveçli kimyacı Arrhenius kimyasal kinetik ve elektrolit çözeltiler konusunda önemli katkılarda bulunmuştur. Dünya'ya hayatın başka gezegenlerden geldiğini savunan *Panspermia* kuramına inandığı söylenmektedir. Arrhenius 1903'de Nobel Kimya ödülünü almıştır.

¹Johannes Nicolaus Brønsted (1879–1947). Danimarkalı kimyacı. Asit-baz kuramının yanısıra, termodinamik ve cıva izotoplarının ayrılmasını da çalışmıştır. Bazı kitaplarda Brønsted asitleri ve bazları, Brønsted-Lowry asit ve bazları diye de adlandırılır. Thomas Martin Lowry (1874–1936), İngiliz Kimyacı. Brønsted ve Lowry 1923'de birbirinden bağımsız olarak aynı asit-baz kuramını geliştirdiler.

Şekil 4.7 Suda HCl' nin hidronyum ve klorür iyonları vererek iyonlaşması.



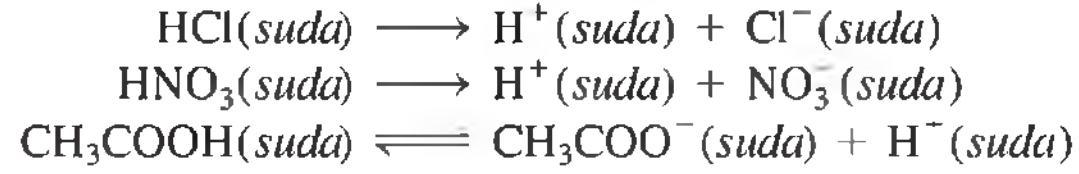
vetle çekildiğinden, sulu çözeltilerde tek başlarına bulunamazlar. Sonuç olarak proton Şekil 4.7'de gösterildiği gibi hidratlanmış halde bulunur. Bundan dolayı hidroklorik asidin iyonlaşması aşağıdaki şekilde yazılmalıdır.



Hidratlanmış proton, H_3O^+ , **hidronyum iyonu** olarak adlandırılır. Yukarıdaki eşitlik bir Brønsted asitinin (HCl) Brønsted bazına (H_2O) bir proton verdiğini gösterir.

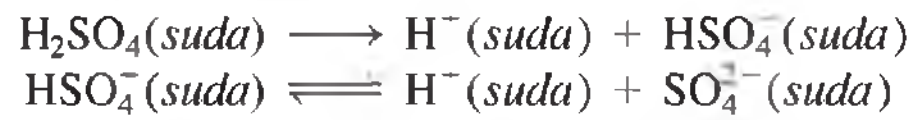
Deneyisel çalışmalar hidronyum iyonunun daha fazla hidratlaşarak protonun bir kaç su molekülüyle sarıldığını göstermiştir. Protonun asidik özelliği hidratlaşma derecesinden etkilenmediğinden, bu kitapta proton genellikle H^+ ile gösterilecektir. Bu kabul sadece kolaylık için olup, H_3O^+ gerçeğe daha yakındır. İki simgenin de sulu çözeltilerde aynı türü ifade ettiği unutulmamalıdır.

Laboratuvarlarda en çok kullanılan asitler hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO_3), asetik asit (CH_3COOH), sülfürik asit (H_2SO_4) ve fosforik asit (H_3PO_4) dır. Bunlardan ilk üçü **tek protonlu asitlerdir**. Başka bir ifadeyle *bu tür asitlerin her bir molekülü iyonlaştığında sadece bir hidrojen iyonu verir*.



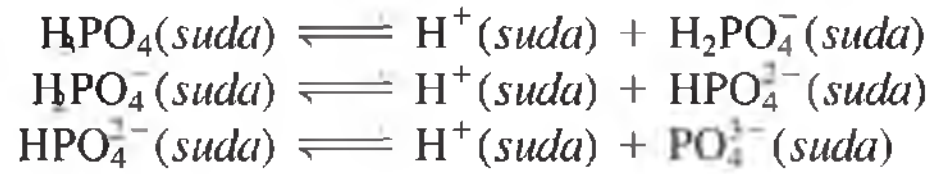
Daha önce belirttiğimiz üzere, asetik asit tam olarak iyonlaşmaz (iki yönlü ok dikkat ediniz) ve zayıf bir elektrolittir. Bu yüzden zayıf asit olarak adlandırılır (bak. Çizelge 4.1). Buna karşın, HCl ve HNO_3 kuvvetli elektrolit olduklarından kuvvetli asitlerdir ve suda tam olarak iyonlaşırlar (tek yönlü ok dikkat ediniz).

Sülfürik asit (H_2SO_4) **iki protonlu bir asittir**. Çünkü her bir asit molekülü iki ayrışma basamağında iki H^+ iyonu verir.

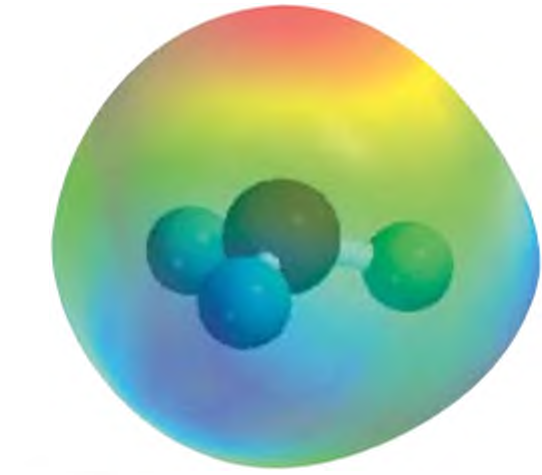


H_2SO_4 kuvvetli bir elektrolit ya da kuvvetli bir asittir (iyonlaşmanın ilk basamağı tamdır). Ancak HSO_4^- zayıf elektrolit ya da zayıf asit olup, iyonlaşması tam olmaz ve bu basamak için çift yönlü ok kullanmak gerekir.

Üç protonlu asitler. üç H^+ iyonu veren asitlerdir ve sayıları nispeten azdır. En iyi bilinen üç protonlu asit fosforik asittir. Bu asitin iyonlaşması şöyledir:



Üç tür de (H_3PO_4 , H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-}) zayıf asit olduğundan, her iyonlaşma basamağını göstermek için çift yönlü ok kullanırız. H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} gibi anyonlar NaH_2PO_4 ve Na_2HPO_4 gibi fosfatların sulu çözeltilerinde bulunurlar. Çizelge 4.3'de sık kullanılan çeşitli asit ve bazlar listelenmiştir.



H_3O^+ iyonlarının elektrostatik potansiyel haritası. Bu gökkuşağı spektrumunda, elektronca zengin bölgeler kırmızı, fakir bölgeler mavidir.

Çoğu kez, asitlerin formülleri H ile başlar ya da COOH grubu içerir.

Çizelge 4.3

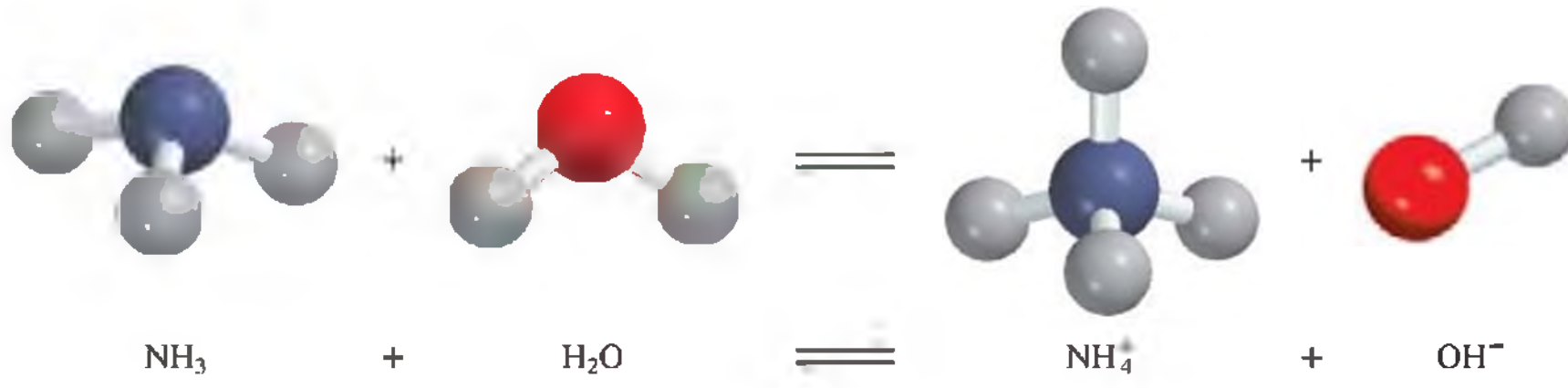
Bazı Yaygın Kuvvetli ve Zayıf Asitler

Kuvvetli Asitler

Hidroklorik asit	HCl
Hidrobromik asit	HBr
Hidroyodik asit	HI
Nitrik asit	HNO_3
Sülfürik asit	H_2SO_4
Perklorik asit	HClO_4

Zayıf Asitler

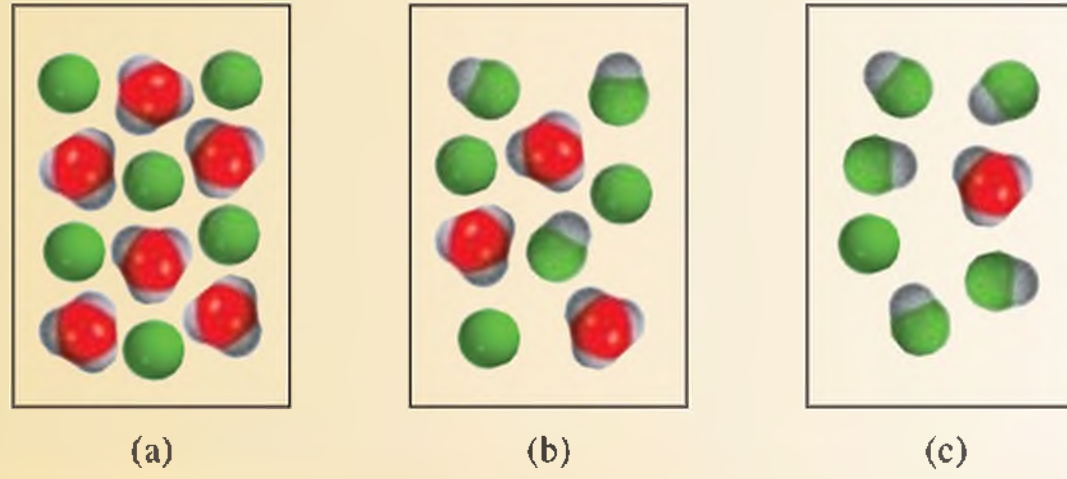
Hidroflorik asit	HF
Nitroz asit	HNO_2
Fosforik asit	H_3PO_4
Asetik asit	CH_3COOH



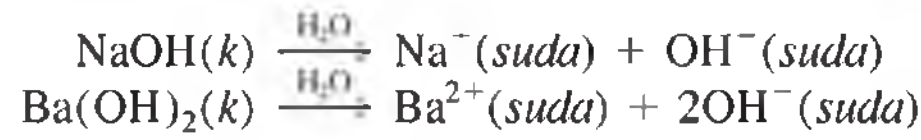
Şekil 4.8 Amonyakın suda amonyum ve hidroksit iyonu oluşturmak üzere iyonlaşması.

Kavramların Değerlendirilmesi

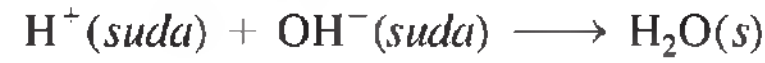
Aşağıdaki gösterimlerden hangisi bir zayıf asidi en iyi temsil eder? Hangisi oldukça zayıf bir asidi temsil eder? Hangisi kuvvetli bir asidi temsil eder? Proton suda hidronyum iyonu olarak bulunur. Bütün asitler tek protonludur. (Kolaylık olması açısından su molekülleri gösterilmemiştir.)



Çizelge 4.1 sodyum hidroksit (NaOH) ve baryum hidroksitin $[\text{Ba}(\text{OH})_2]$ kuvvetli elektrolit olduğunu gösterir. Bu, çözeltide tamamen iyonlaştıkları anlamına gelir.

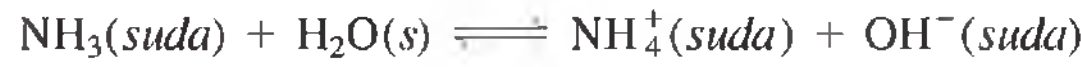


OH^- iyonu aşağıda gösterildiği gibi bir proton kabul edicidir:



Bu yüzden OH^- bir Brønsted bazıdır.

Amonyak (NH_3), H^+ iyonu alabildiği için Brønsted bazı olarak sınıflandırılır:



Çözünmüş amonyak moleküllerinin çok az bir kısmı su ile tepkimeye girerek NH_4^+ ve OH^- iyonlarını oluşturduğundan, amonyak zayıf bir elektrolittir dolayısı ile zayıf bir bazdır.

Laboratuvarda en çok kullanılan baz, sodyum hidroksittir. Ucuzdur ve suda çözünür. Aslında bütün alkali metal hidroksitleri suda çözünürler. En çok kullanılan zayıf baz ise sulu amonyak çözeltisidir. Bu çözelti bazen yanlışlıkla amonyum hidroksit olarak da adlandırılır. Oysa çözeltide NH_4^+ ve OH^- iyonların bulunmasından başka NH_4OH 'ın varlığını gösteren herhangi bir kanıt bulunmamaktadır. Bütün 2A Grubu elementleri $\text{M}(\text{OH})_2$ şeklinde hidroksitler oluştururlar. Burada M bir toprak alkali metali



Bu sulu amonyak çözeltisi şişesinin hatalı olarak amonyum hidroksit diye etiketlendiğine dikkat ediniz.

ifade eder. Bu hidroksitlerden yalnızca $\text{Ba}(\text{OH})_2$ suda çok çözünür. Magnezyum ve kalsiyum hidroksit ilaç sanayinde ve endüstride kullanılır. $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve $\text{Zn}(\text{OH})_2$ gibi diğer metal hidroksitleri suda çözünmez ve baz olarak kullanılmazlar.

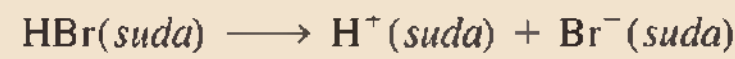
Örnek 4.3'de bileşikler, Brønsted asit ve bazları olarak sınıflandırılmaktadır.

Örnek 4.3

Aşağıda verilen her bir türü, sulu çözeltide Brønsted asiti ve bazı olmalarına göre sınıflandırınız: (a) HBr , (b) NO_2^- , (c) HCO_3^-

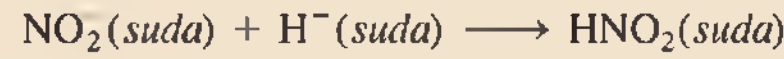
İzlenecek Yol Brønsted asitlerinin karakteristik özellikleri nelerdir? En az bir H atomu içerirler mi? Amonyak hariç, karşılaştığınız Brønsted bazlarının çoğu anyondur.

Çözüm (a) HCl 'nin asit olduğunu biliyoruz. Br ve Cl'un her ikisi de halojen olduğundan (7A Grubu), HBr 'ün de suda HCl gibi iyonlarına ayrışması beklenir:



O halde HBr bir Brønsted asitidir.

(b) Çözeltide nitrit iyonları sudan bir proton alarak nitroz asit oluştururlar:

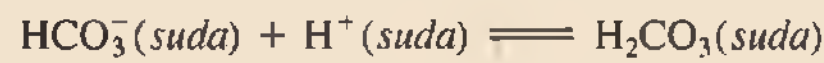


Bu özellik NO_2^- iyonunu Brønsted bazı yapar.

(c) Bikarbonat iyonu suda aşağıdaki gibi iyonlaştığından bir Brønsted asitidir.



Ayrıca, bir proton alarak karbonik asit oluşturabildiği için aynı zamanda bir Brønsted bazıdır.



Yorum HCO_3^- iyonu hem asit hem de baz özelliği gösterdiğine göre *amfoterdir*. Çift yönlü ok tepkimesinin her iki yönde (tersinir) olduğunu gösterir.

Alıştırma Aşağıda verilen her bir türü sulu çözeltide Brønsted asiti ve Brønsted bazı olmalarına göre sınıflandırınız: (a) SO_4^{2-} , (b) HI .

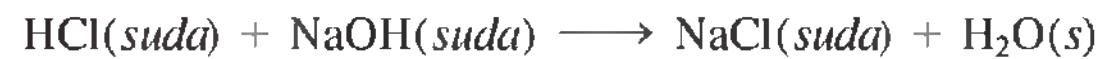
Benzer problemler: 4.31, 4.32.

Asit-Baz Nötralleşmesi

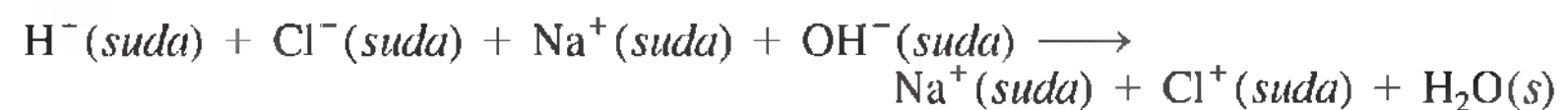
Nötralleşme tepkimesi, bir asit ile bir baz arasında meydana gelen bir tepkimedir. Sulu çözeltideki asit ve baz tepkimeleri genellikle tuz ve su oluşturur. *Tuz*, katyon (H^+ hariç) ve anyonlardan (OH^- ve O^{2-} hariç) oluşan iyonik bir bileşiktir.



Örneğin, sofr tuzu olarak bilinen NaCl bir asit baz tepkimesi ürünüdür.



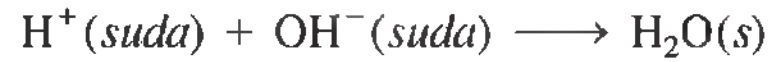
Ancak, bu asit ve bazın her ikisi de kuvvetli elektrolit olduklarından, çözeltide tamamen iyonlaşırlar. Bu iyonik eşitlik aşağıdaki gibidir.



Asit-baz tepkimeleri genelde tek yönlü tepkimelerdir

Animasyon
Nötralleşme tepkimeleri

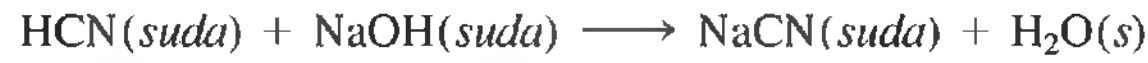
Buna göre, tepkimeyi net iyonik eşitlik şeklinde şöyle yazabiliriz.



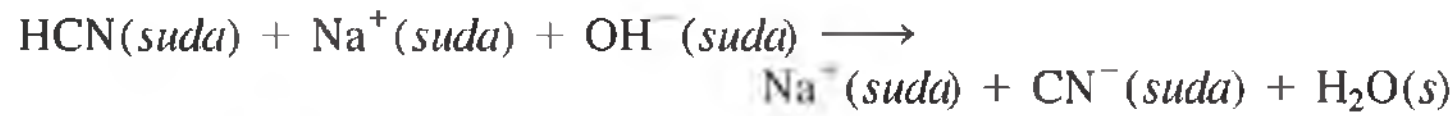
Burada hem Na^+ hem de Cl^- iyonları gözlemci iyonlardır.

Yukarıdaki tepkimeye eşit mol miktarları ile başlamış olsaydık, tepkime sonunda sadece tuz elde edecektik ve kalan asit ya da baz olmayacaktı. Bu asit-baz nötralleşme tepkimelerinin tipik bir özelliğidir.

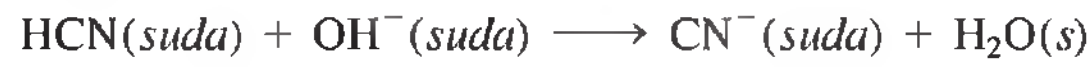
Kuvvetli bir baz ile zayıf bir asit olan hidrojen siyanür (HCN) arasındaki tepkime aşağıdaki gibidir.



HCN zayıf bir asit olduğundan çözeltide çok fazla iyonlaşmaz. Dolayısı ile iyonik eşitlik,

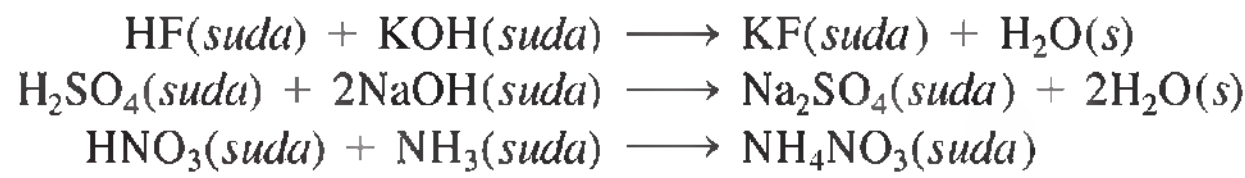


ve net iyonik eşitlik,



olarak yazılabilir. Sadece Na^+ iyonunun gözlemci iyon olduğuna, OH^- ve CN^- iyonlarının ise gözlemci iyon olmadıklarına dikkat ediniz.

Aşağıda moleküler eşitlik olarak verilen tepkimeler de, asit – baz nötralleşme tepkimelerine birer örnektir:



Son eşitlik ürün olarak su içermediğinden farklı görünmektedir, ancak daha öncede belirttiğimiz gibi $\text{NH}_3(\text{suda})$ türünü NH_4^+ ve OH^- şeklinde gösterirsek, son eşitlik aşağıdaki gibide yazılabilir.



Örnek 4.4

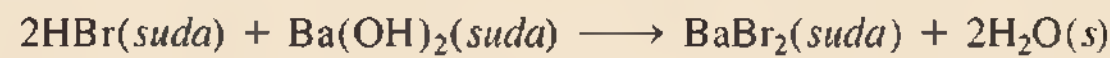
Aşağıdaki asit-baz tepkimeleri için moleküler, iyonik, net iyonik eşitlikleri yazınız.

(a) hidrobromik asit (suda) + baryum hidroksit (suda) →

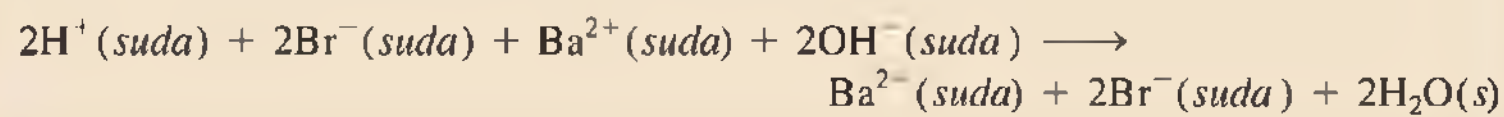
(b) sülfürik asit (suda) + potasyum hidroksit (suda) →

İzlenecek Yol İlk yapılacak iş, asit ve bazları kuvvetli veya zayıf olarak tanımlamaktır. HBr 'ün kuvvetli bir asit olduğunu H_2SO_4 'ün ise iyonlaşmanın ilk basamağında kuvvetli ikinci basamağında zayıf asit olduğunu görmüştük. Hem $\text{Ba}(\text{OH})_2$ hem de KOH kuvvetli bazdır.

Çözüm (a) Moleküler eşitlik:

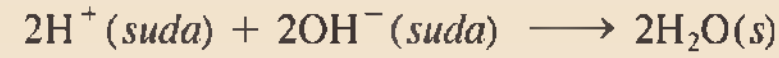


İyonik eşitlik :

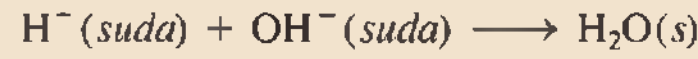


(Devamı)

Net iyonik eşitlik:

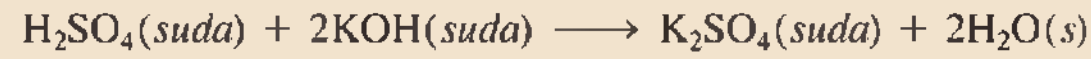


veya

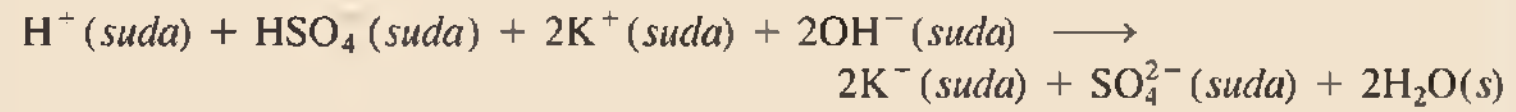


Yukarıda, hem Ba^{2+} hem de Br^- gözlemci iyonlardır.

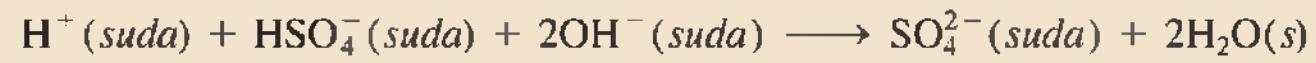
(b) Moleküler eşitlik:



İyonik eşitlik:



Net iyonik eşitlik:



HSO_4^- ın zayıf asit olduğuna ve suda fazlaca iyonlaşmadığına, K^+ ın sadece gözlemci iyon olduğuna dikkat ediniz.

Benzer problem: 4.33(b).

Alıştırma Fosforik asit ve sodyum hidroksitin sulu çözeltileri arasında gerçekleşen tepkime için moleküler, iyonik ve net iyonik eşitlik yazınız.

Gaz Oluşturan Asit-Baz Tepkimeleri

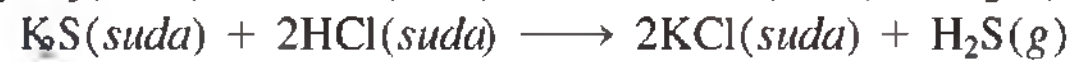
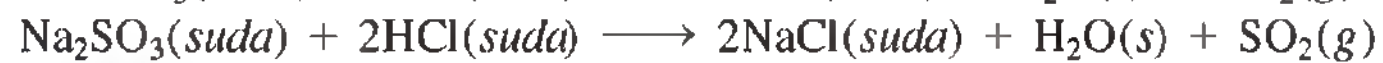
Karbonatlar (CO_3^{2-}), bikarbonatlar (HCO_3^-), sülfidler (SO_3^{2-}) ve sülfürler (S^{2-}) gibi iyonları içeren bazı tuzlar asitlerle tepkimeye girdiğinde gaz ürünler oluştururlar. Örneğin, sodyum karbonat (Na_2CO_3) ile $\text{HCl}(\text{suda})$ arasındaki tepkime için moleküler eşitlik aşağıdaki gibidir.



Oluşan karbonik asit kararsızdır ve çözeltide yeterli derişime eriştiğinde aşağıdaki tepkimeyle bozunur:

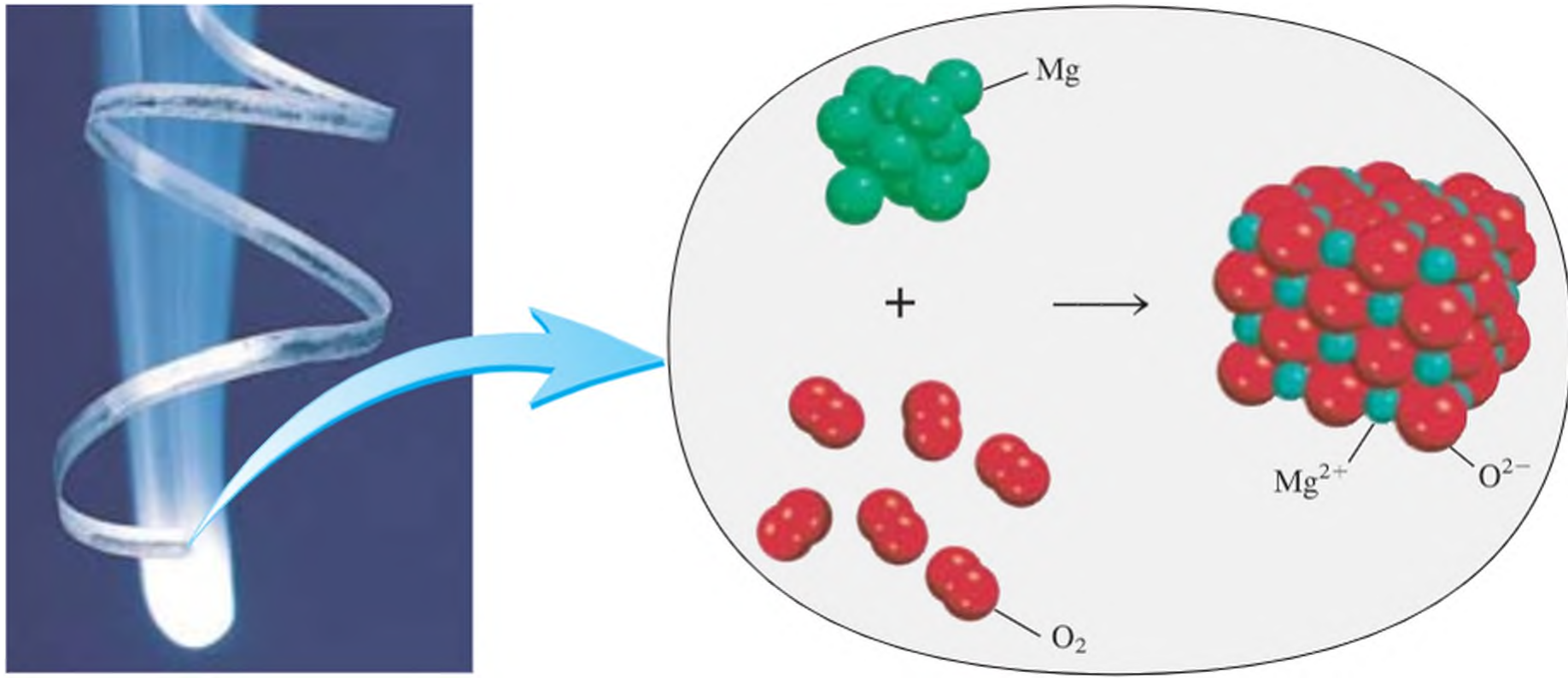


Daha önce bahsettiğimiz tuzlarla ilgili benzer tepkimeler ise aşağıdadır:



4.4 İndirgenme–Yükseltgenme Tepkimeleri

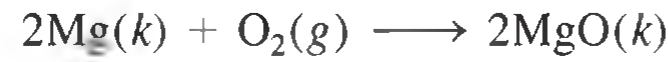
Asit-baz tepkimeleri proton aktarımına dayanırken, *indirgenme-yükseltgenme* ya da *redoks tepkimelerinin* esasını *elektron aktarımını* oluşturur. Çevremizdeki tepkimelerin pek çoğu indirgenme-yükseltgenme tepkimeleridir. Bunlar fosil yakıtlarının yanmasından, evlerde kullanılan ağartıcı maddelere kadar çeşitlilik gösterir. Ayrıca, pek çok



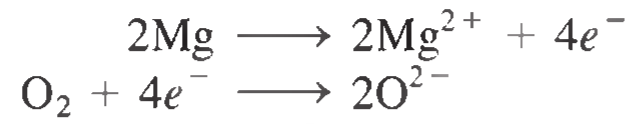
Şekil 4.9 Magnezyum, oksijen ile yanarak magnezyum oksit oluşturur.

metal ya da ametaller, filizlerinden yükseltgenme-indirgenme tepkimeleriyle elde edilirler.

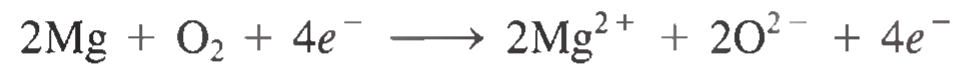
Çoğu redoks tepkimeleri suda gerçekleşirken, hepsi suda gerçekleşmez. Konumuza iki elementin birleşmesi ile oluşan bir tepkime ile başlayacağız. Magnezyum ve oksijenden magnezyum oksidin (MgO) oluşumunu göz önüne alalım (Şekil 4.9):



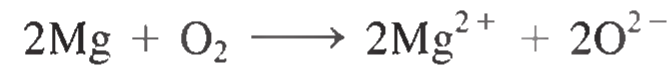
Magnezyum oksit (MgO), Mg^{2+} ve O^{2-} den oluşan iyonik bir bileşiktir. Bu tepkimede, iki Mg atomu 4 elektronunu, O_2 'deki iki O atomuna verir. Aşağıda gösterildiği gibi, önce iki magnezyum atomunun dört elektron kaybettiğini, sonra bir O_2 molekülünün dört elektron kazandığını ve toplam işlemin bu şekilde iki basamaktan oluştuğunu düşünelim.



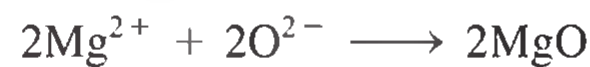
Yukarıdaki tepkimenin her bir basamağı **yarı tepkime** olarak adlandırılır ve bir redoks tepkimesinde yer alan elektronları açıkça gösterir. Yarı-tepkimelerin toplamı ise net tepkimeyi verir:



Eğer tepkimenin her iki tarafında yer alan elektronları yok edersek.



Son olarak Mg^{2+} ve O^{2-} iyonları MgO oluşturmak üzere birleşirler:



Yükseltgenme tepkimesi, elektron kaybının olduğu yarı-tepkimedir. Kimyacılar eskiden yükseltgenme deyimini elementlerin oksijenle birleşmesi anlamında kullanırlardı. Ancak şimdi oksijen içermeyen tepkimeleri de kapsayan daha geniş bir anlamı vardır. **İndirgenme tepkimesi**, elektron kazanımının gerçekleştiği yarı-tepkimedir.

Animasyon
Magnezyum ve oksijen tepkimesi

Animasyon
yükseltgenme-indirgenme ile Ag_2S oluşumu.

Yükseltgenme yarı- tepkimesinde elektronların ürün olarak, indirgenme tepkimesinde ise tepken olarak yer aldığına dikkat ediniz.

Redoks ile ilgili hafızada kalacak bir kısaltma. YKİK: Yükseltgenme kaybetmek-tir (elektronları) ve indirgenme kazanmaktır (elektronları).

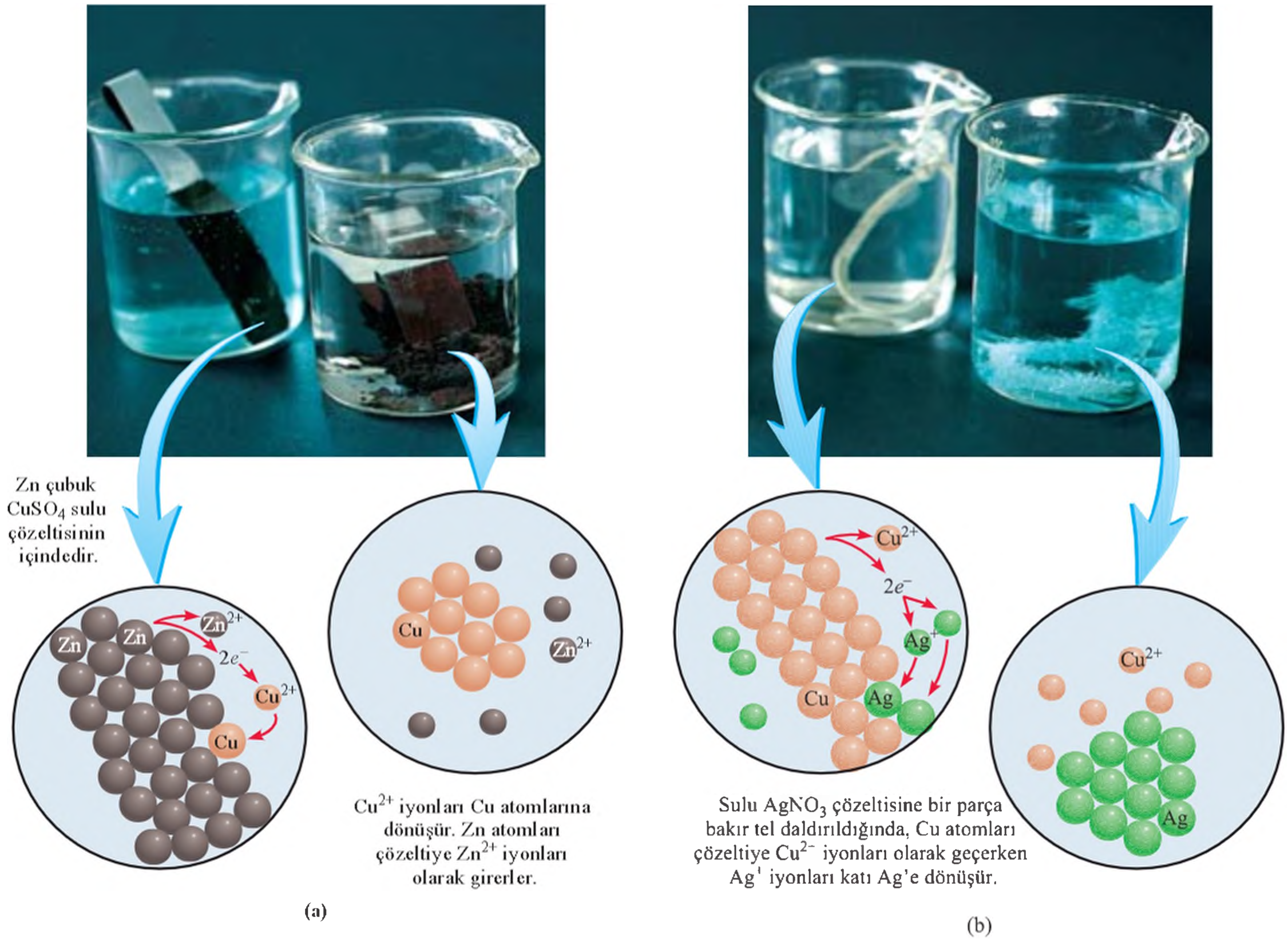
Yükseltgenler her zaman indirgenir, indirgenler her zaman yükseltgenir. Bu açık-lama biraz karışık olsa da iki sürecin tanı-mından kaynaklanmaktadır.

Magnezyum oksit oluşumunda magnezyum yükseltgenir. Magnezyum iki *elektronunu oksijene vererek* oksijeni indirgediğinden, magnezyum bu tepkimede *indirgendir*. Bu tepkimede oksijen indirgenirken magnezyumdan *iki elektron alarak* onu yükseltgediğinden, oksijen *yükseltgen olarak davranır*. Bir redoks tepkimesindeki yükseltgenme derecesi indirgenme dercesine eşit olmalıdır. Yani indirgenin kaybettiği elektron sayısı yükseltgenin aldığı elektron sayısına eşit olmalıdır.

Bazı redoks tepkimelerinde elektron aktarımı diğerlerinden daha belirgindir. Bakır (II) sülfat (CuSO_4) içeren çözeltiye metalik çinko eklendiğinde çinko, Cu^{2+} yi iki elektron vererek indirger.

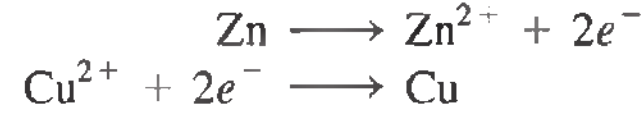


Bu işlemde, çözelti hidratlaşmış Cu^{2+} nin varlığını gösteren mavi rengini kaybeder (Şekil 4.10):



Şekil 4.10 Çözeltide metal yer değiştirme tepkimeleri. (a) İlk beher: Çinko çubuk, mavi CuSO_4 çözeltisine daldırılır. Cu^{2+} iyonları anında Cu metaline indirgenir ve koyu bir tabaka oluşur. İkinci beher: Zamanla Cu^{2+} iyonlarının çoğu indirgenir ve çözelti renksizleşir. (b) İlk beher: Bir parça Cu tel renksiz AgNO_3 çözeltisine daldırılır. Ag^+ iyonları Ag metaline indirgenir. İkinci beher: Zaman ilerledikçe, Ag^+ iyonların büyük bir kısmı indirgenir ve hidratlaşmış Cu^{2+} iyonlarının varlığından dolayı çözelti karakteristik mavi rengi alır.

Yükseltgenme ve indirgenme yarı tepkimeleri aşağıdaki gibidir.



Benzer bir biçimde metalik bakır, gümüş nitrat (AgNO_3) çözeltisindeki gümüş iyonlarını indirger:



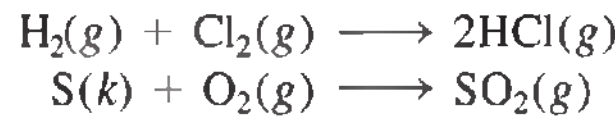
veya kısaca,



 Animasyon
Cu'nun AgNO_3 ile indirgenmesi

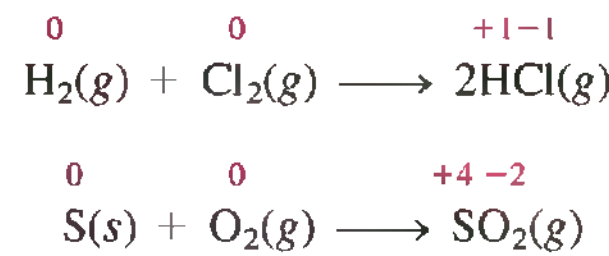
Yükseltgenme Basamağı

Elektron kaybetme ve elektron kazanmayı içeren yükseltgenme–indirgenme kavramı, MgO gibi iyonik bileşiklere ve Cu^{2+} iyonlarının Zn tarafından indirgenmesine uyar. Ancak, bu tanımlama hidrojen klorür (HCl) ve kükürt dioksit (SO_2) gibi bileşiklerin oluşumunu doğru olarak açıklamaz:



HCl ve SO_2 iyonik bileşikler değil, moleküler bileşiklerdir. Bu bileşiklerin oluşumunda MgO 'de olduğu gibi doğrudan elektron aktarımı olmaz. Yine de kimyacılar deneysel ölçümlerden, kısmi elektron aktarımı göstermesinden dolayı (elektron aktarımları HCl 'de H'den Cl'a ve SO_2 'de S'den O'ya) bu tür tepkimeleri redoks tepkimesi olarak ele alırlar.

Bir redoks tepkimesinde elektron aktarımını izlemek için ürün ve tepkenlerin yükseltgenme basamağının belirlenmesi gerekir. Bir atomun **yükseltgenme basamağı**, *eğer elektron aktarımı tamamlanmışsa, moleküldeki veya iyonik bileşikteki atomun yük sayısıdır*. Örneğin yukarıda verilen HCl ve SO_2 oluşumunu tekrar şöyle yazabiliriz:



Yukarıda verilen tepkimelerde, elementlerin üzerindeki sayılar yükseltgenme basamağıdır. Her iki eşitlikte de tepkenlerdeki atomlar üzerinde yük yoktur ve bu nedenle yükseltgenme basamakları sıfırdır. Ürün molekülleri için elektron aktarımının tam olarak gerçekleştiği ve atomların elektron aldıkları veya verdikleri kabul edilir. Sonuç olarak yükseltgenme basamağı “aktarılan” elektron sayısını verir.

Yükseltgenme basamakları elementlerin yükseltgendiğini ya da indirgendiğini bu bakışta anlamamızı sağlar. Yukarıdaki örnek, hidrojen ve kükürtün yükseltgenme basamağında bir artış olduğunu, dolayısıyla yükseltgindiklerini gösterir. Klor ve oksijen ise indirgenmekte yani yükseltgenme basamağı başlangıca göre azalmaktadır. HCl 'deki H ve Cl'un yükseltgenme basamakları (+1 ve -1) toplamının sıfır olduğuna dikkat edelim. Benzer şekilde, S'ün yükseltgenme basamağı (+4) ile ve iki oksijen atomu-

nun $[2 \times (-2)]$ yükseltgenme basamakları toplandığında, toplam yük sıfırdır. HCl ve SO_2 nötr olduklarından yükler birbirine eşit olmalıdır.

Yükseltgenme basamaklarını bulmak için aşağıdaki kuralları izlemek yararlı olur:

1. Serbest elementlerin (bağ yapmadıkları durumda) yükseltgenme basamağı sıfırdır. Bu yüzden H_2 , Br_2 , Na, Be, K, O_2 ve P_4 'deki her bir atomun yükseltgenme basamağı aynıdır ve sıfırdır.
2. Tek atomlu iyonlarda (monoatomik iyonlar) yükseltgenme basamağı iyonun yüküne eşittir. Bundan dolayı Li^+ iyonu +1, Ba^{2+} iyonu +2, Fe^{3+} iyonu +3, I^- iyonu -1, O^{2-} iyonu -2 yükseltgenme basamağına sahiptir. Alkali metallerin bileşiklerinde yükseltgenme basamakları +1, toprak alkali metallerin yükseltgenme basamakları +2'dir. Alüminyumun bütün bileşiklerinde yükseltgenme basamakları +3'tür.
3. Oksijenin pek çok bileşiğinde yükseltgenme basamağı -2'dir (örneğin MgO ve H_2O), ancak hidrojen peroksitte (H_2O_2) ve peroksit iyonunda (O_2^{2-}), -1'dir.
4. Hidrojenin yükseltgenme basamağı metallerle tek başına oluşturduğu ikili bileşikler dışında +1'dir. Metallerle oluşturduğu bileşiklerde ise -1'dir (örneğin, LiH , NaH , CaH_2).
5. Flor bütün bileşiklerinde -1 yükseltgenme basamağına sahiptir. Diğer halojenler (Cl, Br, ve I) bileşiklerinde halojenür iyonları halinde bulunduklarında negatif yükseltgenme basamağına sahiptirler. Ancak, oksiasit ve oksianyonlarda olduğu gibi oksijenle oluşturdukları bileşiklerde (bak. Kesim 2.7) pozitif yükseltgenme basamağına sahiptirler.
6. Nötr bir molekülde atomların yükseltgenme basamakları toplamı sıfır olmalıdır. Birden fazla atom içeren iyonlarda (poliatomik iyonlar) elementlerin yükseltgenme basamakları toplamı iyon yüküne eşit olmalıdır. Örneğin bu amonyum iyonunda (NH_4^+) azotun yükseltgenme basamağı -3, hidrojeninki +1'dir. Bu yüzden yükseltgenme basamakları toplamı $-3 + 4(+1) = +1$ 'dir. Bu da net iyon yüküne eşittir.
7. Yükseltgenme basamağı tam sayı olmak zorunda değildir. Örneğin süperoksit (O_2^-) iyonundaki oksijenin yükseltgenme basamağı $-\frac{1}{2}$ 'dir.

Yukarıda verilen kuralları Örnek 4.5'de uygulayalım.

Örnek 4.5

Aşağıda verilen iyon ve bileşiklerdeki elementlerin yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz. (a) Li_2O , (b) HNO_3 , (c) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

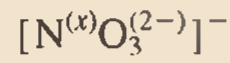
İzlenecek Yol Yükseltgenme basamaklarını belirlemek için yukarıda verilen kuralları izleriz. Alkali metallerin hepsinin yükseltgenme basamaklarının +1, çoğu bileşiklerinde hidrojenin +1 ve oksijenin -2 yükseltgenme basamaklarına sahip olduğunu hatırlayınız.

Çözüm (a) Kural 2'ye göre lityumun yükseltgenme basamağının +1 (Li^+) ve oksijenin yükseltgenme basamağının -2 (O^{2-}) olduğunu görürüz.

(b) Burada verilen formül nitrik asidin formülüdür. Nitrik asit suda iyonlaşarak H^+ ve NO_3^- iyonlarını verir. 4. kuraldan H'nin +1 yükseltgenme basamağına sahip olduğunu görürüz. Buna göre diğer grup (nitrat iyonu) net olarak -1 yükseltgenme

(Devamı)

basamağına sahip olmalıdır. Oksijenin yükseltgenme basamağı -2 olduğuna göre azotun yükseltgenme basamağını x ile gösterirsek nitrat iyonu şöyle yazılabilir:

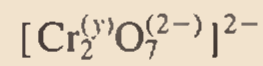


veya

$$x + 3(-2) = -1$$

$$x = +5$$

- (c) 6. kuraldan dikromat iyonunda, $Cr_2O_7^{2-}$, yükseltgenme basamaklarının toplamının -2 olması gerektiğini anlıyoruz. Oksijenin yükseltgenme basamağının -2 olduğunu bildiğimize göre yapacağımız tek şey Cr 'ın y ile gösterdiğimiz yükseltgenme basamağını bulmaktır. Dikromat iyonunu şöyle yazabiliriz.



veya

$$2(y) + 7(-2) = -2$$

$$y = +6$$

Kontrol Her örnekte, atomların yükseltgenme basamakları toplamı türlerin üzerindeki net yüke eşit midir?

Alıştırma Verilen şu bileşik ve iyondaki elementlerin yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz: (a) PF_3 , (b) MnO_4^- .

Benzer problemler: 4.47, 4.49.

Şekil 4.11'de birçok elementin periyodik çizelgedeki yerleri ve elementin bilinen yükseltgenme basamakları görülmektedir. Bu çizelgeyi şöyle özetleyebiliriz.

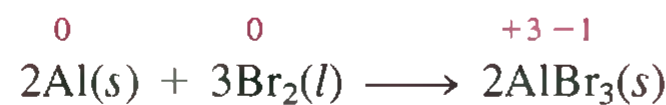
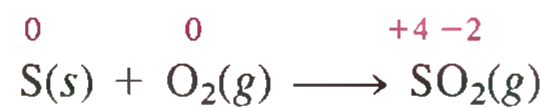
- Metal elementlerin yalnızca pozitif yükseltgenme basamakları varken, ametal elementler hem pozitif hem de negatif yükseltgenme basamaklarına sahip olabilirler.
- 1A – 7A Grubu elementlerinin en yüksek yükseltgenme basamakları grup numarasına eşittir. Örneğin; halojenler 7A grubundadır ve olabilecek en yüksek yükseltgenme basamağı $+7$ 'dir.
- Geçiş metalleri (1B, 3B-8B Grupları) genelde birden çok yükseltgenme basamaklarına sahiptirler.

Redoks Tepkimelerinin Türleri

Çok bilinen yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinden bazıları birleşme, bozunma, yanma ve yer değiştirme tepkimeleridir. Daha kapsamlı bir türü ise yine bu bölümde anlatılacak olan yarılma(disproporsiyon) tepkimeleridir.

Birleşme Tepkimeleri

Birleşme tepkimesi, iki ya da daha fazla maddenin tek bir ürün oluşturmak üzere bir araya geldiği tepkimedir. Şekil 4.12 bazı birleşme tepkimelerini göstermektedir. Örneğin;



Doğadaki her birleşme tepkimesi redoks tepkimesi değildir. Aynı şey ayrışma tepkimeleri için de geçerlidir.

1 1A																	18 8A	
1 H +1 -1																	2 He	
												13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A		
3 Li +1	4 Be +2											5 B +3	6 C +4 +2 -4	7 N +5 +4 +3 +2 +1 -3	8 O +2 1 2 -1 -2	9 F -1	10 Ne	
11 Na +1	12 Mg +2											13 Al +3	14 Si +4 -4	15 P +5 +3 -3	16 S +6 +4 +2 -2	17 Cl +7 +6 +5 +4 +3 +1 -1	18 Ar	
		3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9	10	11 1B	12 2B							
19 K +1	20 Ca +2	21 Sc +3	22 Ti +4 +3 +2	23 V +5 +4 +3 +2	24 Cr +6 +5 +4 +3 +2	25 Mn +7 +6 +4 +3 +2	26 Fe +3 +2	27 Co +3 +2	28 Ni +2	29 Cu +2 +1	30 Zn +2	31 Ga +3	32 Ge +4 -4	33 As +5 +3 -3	34 Se +6 +4 -2	35 Br +5 +3 +1 -1	36 Kr +4 +2	
37 Rb +1	38 Sr +2	39 Y +3	40 Zr +4	41 Nb +5 +4	42 Mo +6 +4 +3	43 Tc +7 +6 +4	44 Ru +8 +6 +4 +3	45 Rh +4 +3 +2	46 Pd +4 +2	47 Ag +1	48 Cd +2	49 In +3	50 Sn +4 +2	51 Sb +5 +3 -3	52 Te +6 +4 -2	53 I +7 +5 +1 -1	54 Xe +6 +4 +2	
55 Cs +1	56 Ba +2	57 La +3	72 Hf +4	73 Ta +5	74 W +6 +4	75 Re +7 +6 +4	76 Os +8 +4	77 Ir +4 +3	78 Pt +4 +2	79 Au +3 +1	80 Hg +2 +1	81 Tl +3 +1	82 Pb +4 +2	83 Bi +5 +3	84 Po +2	85 At -1	86 Rn	

Şekil 4.11 Elementlerin bileşiklerindeki yükseltgenme basamakları. Yaygın olan yükseltgenme basamakları renkli gösterilmiştir.



(a)

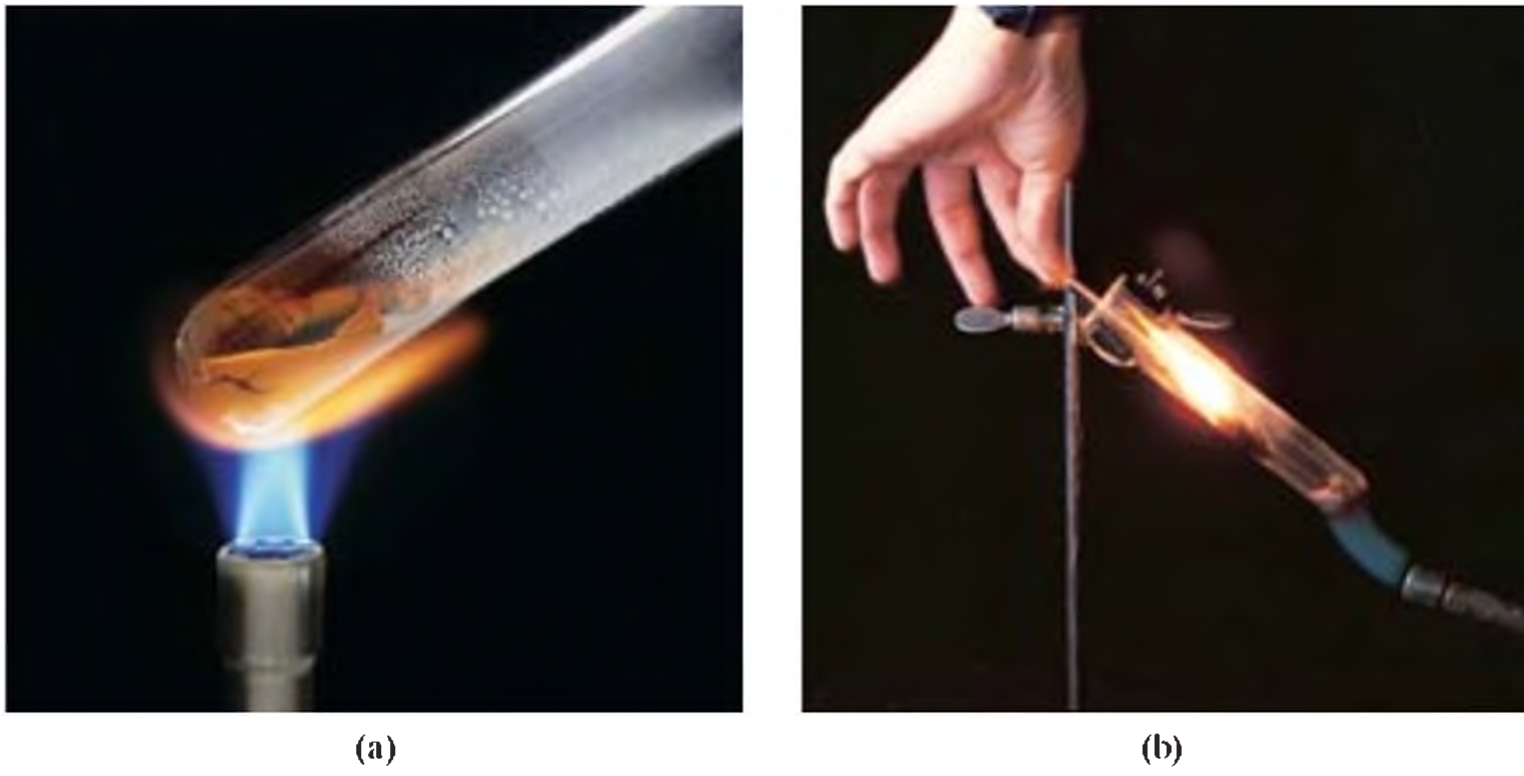


(b)



(c)

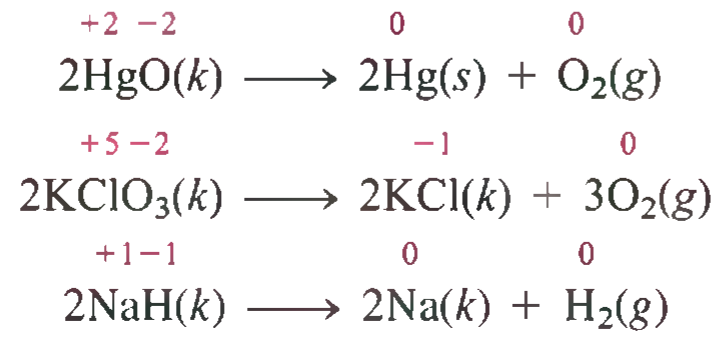
Şekil 4.12 Bazı basit birleşme redoks tepkimeleri. (a) Kükürdün, kükürt dioksit oluşturmak üzere havada yanması. (b) Sodyumun, sodyum klorür oluşturmak üzere klorla yanması. (c) Alüminyumun, alüminyum bromür oluşturmak üzere bromla tepkimesi.



Şekil 4.13 (a) Cıva(II) oksitin ısıtılarak cıva ve oksijene bozunması. (b) potasyum kloratın (KClO_3) ısıtılması sonucu açığa çıkan oksijen tahta kıymıklarının yanmasını şiddetlendirir.

Bozunma Tepkimeleri

Bozunma tepkimeleri birleşme tepkimelerinin tersidir. *Bozunma tepkimesi*, bir bileşiğin iki ya da daha fazla bileşene ayrıldığı tepkimedir (Şekil 4.13). Örneğin:

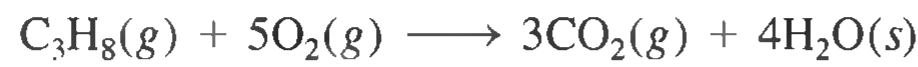


Sadece yükseltgenmiş ya da indirgenmiş elementler için yükseltgenme basamağını gösteririz.

Bütün yanma tepkimeleri redoks işlemidir.

Yanma Tepkimeleri

Yanma tepkimesi, bir maddenin oksijenle tepkimeye girerek genellikle ısı ve ışığın açığa çıktığı alev oluşturan tepkimedir. Daha önce açıklandığı gibi magnezyum ve kükürdün, oksijen ile verdikleri tepkimeler yanma tepkimeleridir. Diğer bir örnek de günlük yaşamda ısınma ve yemek pişirmede kullanılan doğal gazın bir bileşeni olan propanın (C_3H_8) yanmasıdır:

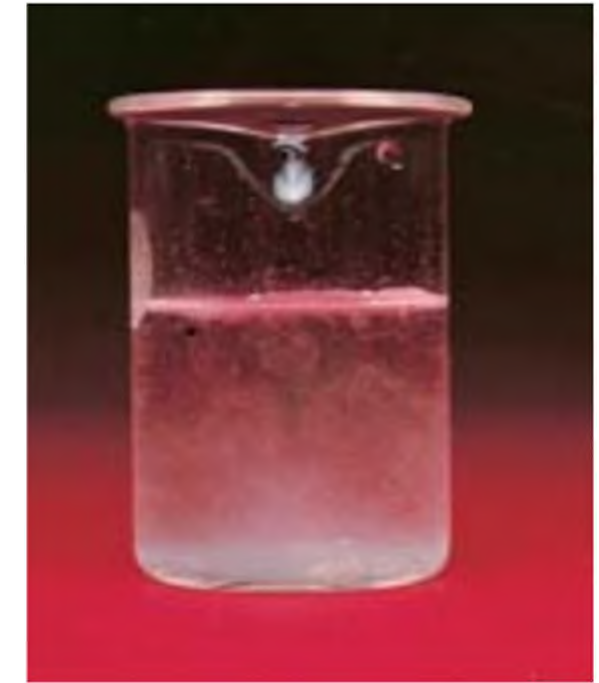
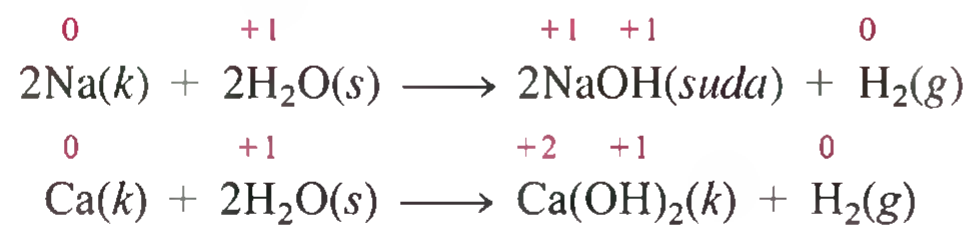


Organik bileşiklerde C atomunun yükseltgenme basamağının belirlenmesi daha kapsamlıdır. Burada biz sadece O atomların 0 ile -2 arasında değişen yükseltgenme basamaklarına odaklanacağız.

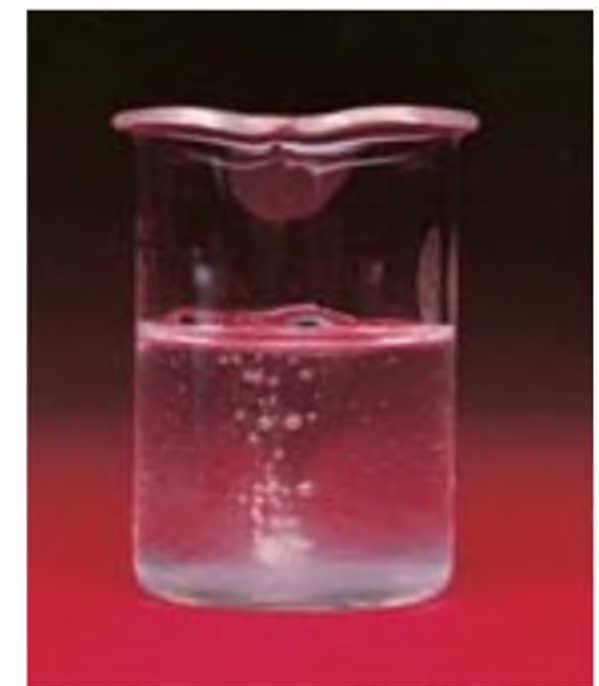
Yer değiştirme Tepkimeleri

Yer değiştirme *tepkimesinde*, bir bileşikteki iyon ya da atom başka bir elementin iyonu ya da atomuyla yer değiştirir. Yer değiştirme tepkimelerinin çoğu şu üç alt sınıflandırmadan birine uyar. Bunlar; hidrojen yer değiştirmesi, metal yer değiştirmesi ve halojen yer değiştirmesidir.

1. Hidrojen Yer değiştirmesi. Metal elementleri arasında tepkime yatkınlıkları en fazla olan alkali metallerin tamamı ve bazı toprak alkali metaller (Ca, Sr ve Ba) soğuk suda hidrojenle yer değiştirme tepkimesi verirler (Şekil 4.14).

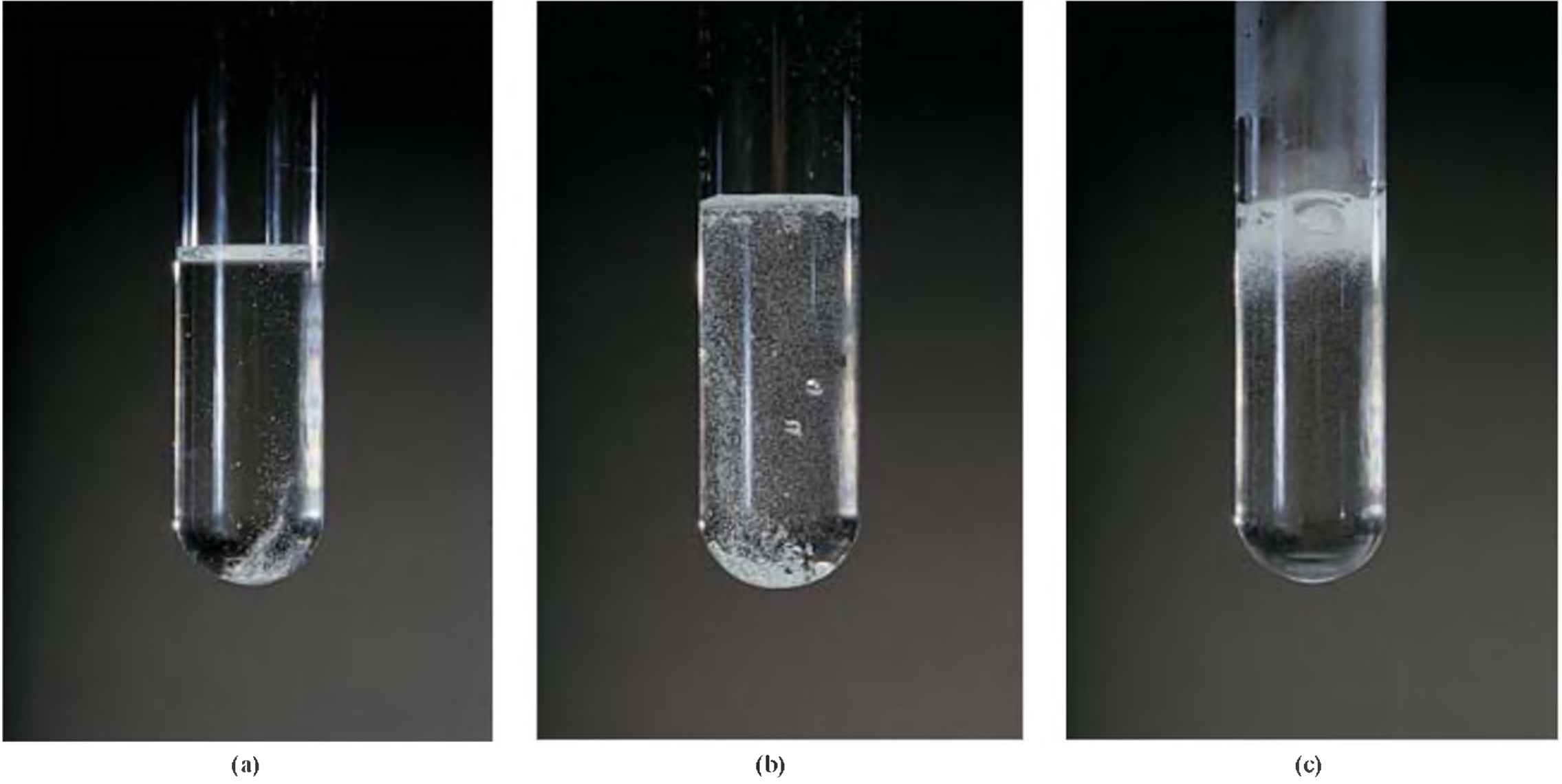


(a)



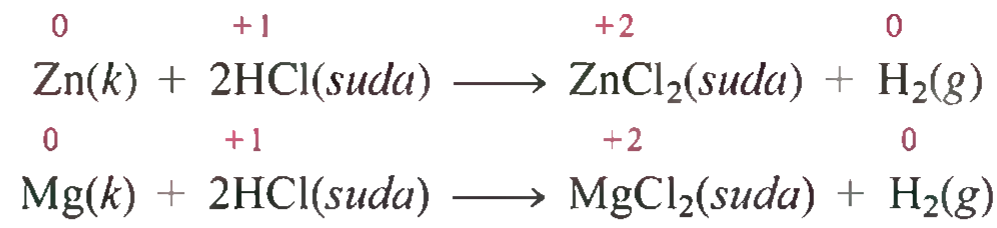
(b)

Şekil 4.14 (a) Sodyum (Na) ve (b) kalsiyumun (Ca) soğuk su ile tepkimesi. Sodyumun su ile tepkimesi kalsiyumun su ile tepkimesinden çok daha hızlıdır.



Şekil 4.15 (a) Demir (Fe), (b) çinko (Zn) ve (c) magnezyumun (Mg) ile hidroklorik asit (HCl) tepkimesinden hidrojen gazı ve metal klorürlerin (FeCl₂, ZnCl₂, MgCl₂) oluşumu. Bu metallerin tepkimeye yatkınlıkları hidrojen gazının açığa çıkma hızı ile belirlenir. Hidrojen gazı çıkışı, tepkime yatkınlığı daha az olan Fe ile yavaş, tepkime yatkınlığı daha çok olan Mg ile hızlıdır.

Su ile tepkime vermeyen metaller de dahil olmak üzere, çok sayıda metal, asit hidrojeni ile yer değiştirir. Örneğin, çinko (Zn) ve magnezyum (Mg) soğuk su ile tepkime vermezken, hidroklorik asitle aşağıdaki tepkimeleri verirler:



Demir (Fe), çinko (Zn) ve magnezyumun (Mg) hidroklorik asit (HCl) ile tepkimesi Şekil 4.15’de görülmektedir. Bu tepkimeler laboratuvarıda hidrojen gazı elde etmek için kullanılır.

2. Metal Yer değiştirmesi. Bir bileşikteki metal temel haldeki diğer bir metal ile yer değiştirebilir. Daha önce çinkonun bakır iyonları ile, bakırın ise gümüş iyonları ile yer değiştirdiğini görmüştük (bak. s.134). Bu metallerin rolleri değiştirilirse tepkime olmaz. Yani, çinko sülfat çözeltisi içinde bakır metali çinko iyonuyla veya bakır nitrat çözeltisindeki gümüş metali bakır iyonu ile yer değiştirmez.

Bir metal ya da hidrojenin yer değiştirme tepkimesi verip vermeyeceğini öngörmenin en kolay yolu Şekil 4.16’da verilen *etkinlik serisini* (bazen *elektrokimyasal seri* olarak adlandırılır) dikkate almaktır. Aslında etkinlik serisi, tartıştığımız yer değiştirmeye tepkimelerine benzer pek çok tepkimenin özetidir. Bu seriye göre hidrojenin üzerindeki herhangi bir metal, su veya asidin hidrojeni ile yer değiştirecektir. Bunun tersine, hidrojenin altındaki metaller ne asit ile ne de suyla tepkime vermeyeceklerdir. Aslında bu seride yer alan herhangi bir metal, kendi altındaki herhangi bir metalle (bir bileşikte bulunan) tepkimeye girecektir. Örneğin, Zn bakırın üzerinde yer almakta ve bunun için çinko metali bakır sülfat çözeltisindeki bakır iyonu ile yer değiştirebilir.

İndirgeme kuvveti artar

$$\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + e^-$$

$$\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + e^-$$

$$\text{Ba} \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e^-$$

$$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e^-$$

$$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e^-$$

$$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2e^-$$

$$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + e^-$$

$$\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{3+} + 3e^-$$

Soğuk su ile H_2 oluşturmak üzere tepkimeye girerler.

Su buharı ile H_2 oluşturmak üzere tepkimeye girerler.

Asitler ile H_2 oluşturmak üzere tepkimeye girerler.

Su veya asitler ile H_2 oluşturmak üzere tepkimeye giremezler.

Şekil 4.16 Metallerin etkinlik sırası. Metaller asit ya da sudaki hidrojen ile yer değiştirebilme etkinliklerine göre sıralanmıştır. Burada Li (lityum) en etkin, altın (Au) ise en az etkin olan metaldir.

Metal yer değiştirme tepkimeleri metalürjide cevherden saf metali ayırma amacı ile kullanılır. Örneğin vanadyum, vanadyum(V)oksitin kalsiyum ile muamele edilmesi ile elde edilir:



Benzer bir biçimde titanyum da titanyum (IV) klorürden elde edilir.



Her durumda indirgen olarak davranan metal, etkinlik serisinde indirgenen metallerin (Ca, V'nin üzerinde ve Mg, Ti'nin üzerindedir) üzerindedir. Bölüm 18'de bu tip tepkimeler ile ilgili daha fazla örnek göreceğiz.

3. Halojen Yer değiştirme. Yerdeğiştirme tepkimelerinde, halojenlerin davranışlarını özetleyen bu diğer etkinlik serisi aşağıdaki gibidir:



Bu elementlerin yükseltgeme güçleri 7A Grubunda yukarıdan aşağıya gidildikçe, yani flordan iyoda doğru, azalır. Buna göre flor molekülü çözeltideki klorür, bromür ya da iyodür iyonlarıyla yer değiştirebilir. Gerçekte flor molekülünün tepkimeye girme yatkınlığı öylesine büyüktür ki, çözeltideki su ile kuvvetli bir tepkime verdiğinden bu tepkimeler sulu çözeltilerde gerçekleştirilemez. Buna karşın, klor molekülü sulu çözeltide bromür ve iyodür iyonları ile yer değiştirebilir. Halojenlerin yer değiştirme tepkimeleri:

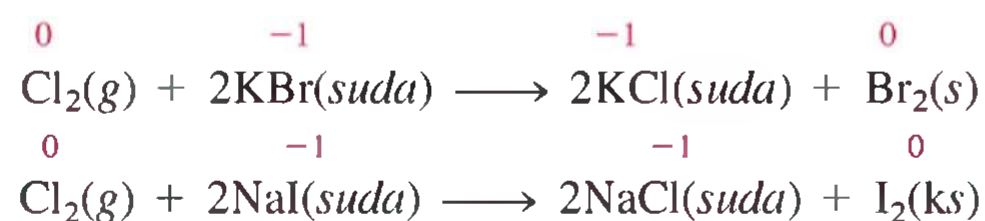
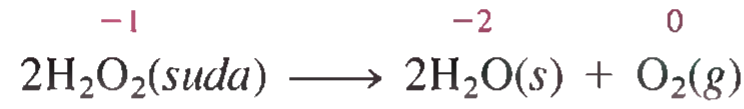


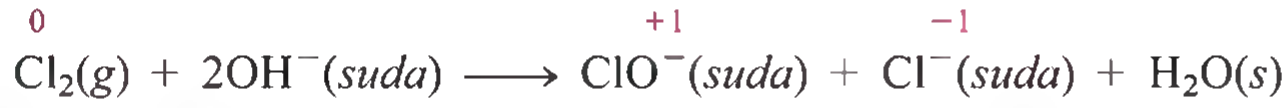
Diagram illustrating the placement of halogens in the periodic table. The elements Fluorine (F), Chlorine (Cl), Bromine (Br), and Iodine (I) are highlighted in blue, corresponding to groups 17 (7A) and periods 2, 3, 4, and 5 respectively.

Halojenler

olur; böylelikle o elementin hem yükseltgenmiş hem de indirgenmiş ürünleri bulunur. Hidrojen peroksitin bozunması yarıma tepkimesine bir örnektir:



Burada oksijenin (–1) yükseltgenme basamağı hem O₂'de sıfıra artar, hem de H₂O'da –2'ye iner. Bir başka örnek de moleküler klor ile NaOH çözeltisi arasındaki tepkimedir:



H'de +1 yükseltgenme basamağı sayısının değişmediğine dikkat ediniz.

Bu tepkime, ev tipi ağartıcıların oluşumunu anlatır. Burada hipoklorit iyonu (ClO[–]) renkli lekeleri yükseltger ve onları renksiz hale getirir.

Son olarak, redoks tepkimeleri ile asit-baz tepkimelerinin karşılaştırılması ilginçtir. Asit-baz tepkimeleri proton aktarımı, redoks tepkimeleri ise elektron aktarımını içerdiğinden benzerdir. Buna karşın, asit-baz tepkimelerinin belirlenmesi her zaman bir asit ve bir baz içerdiğinden kolayken, redoks tepkimelerinin belirlenmesi için böyle kolay bir yöntem yoktur. Tek emin yol, tepken ve ürünlerdeki bütün elementlerin yükseltgenme basamağını kontrol etmektir. Yükseltgenme basamaklarındaki herhangi bir değişiklik, tepkimenin yükseltgenme-indirgenme tepkimesi olduğunu *garantiler*.

Örnek 4.6'da, farklı türdeki redoks tepkimelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.

Örnek 4.6

Aşağıdaki redoks tepkimelerini sınıflandırıp, elementlerin yükseltgenme basamaklarındaki değişimleri belirtiniz.

- (a) $2\text{N}_2\text{O}(g) \longrightarrow 2\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g)$
- (b) $6\text{Li}(k) + \text{N}_2(g) \longrightarrow 2\text{Li}_3\text{N}(k)$
- (c) $\text{Ni}(k) + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2(suda) \longrightarrow \text{Pb}(k) + \text{Ni}(\text{NO}_3)_2(suda)$
- (d) $2\text{NO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow \text{HNO}_2(suda) + \text{HNO}_3(suda)$

İzlenecek Yol Birleşme tepkimesi, bozunma tepkimesi, yer değiştirme tepkimesi ve yarıma tepkime tanımlarını yeniden gözden geçirin.

Çözüm (a) Bir tepken iki farklı ürüne dönüştüğünden bu bir bozunma tepkimesidir.

N'in yükseltgenme basamağı +1'den 0'a değişirken, O'nin ki –2'den 0'a değişir.

(b) İki tepken bir ürün olduğundan bu bir birleşme tepkimesidir. Lityumun yükseltgenme basamağı 0'dan +1'e değişirken, N atomunun 0'dan –3'e değişir.

(c) Bu bir metal yer değiştirme tepkimesidir. Nikel metali Pb²⁺ iyonu ile yer değiştirir yani onu indirger. Ni'nin yükseltgenme basamağı 0'dan +2'ye artarken Pb'nin +2'den 0'a azalır.

(d) N'nin yükseltgenme basamağı NO₂'de +4, HNO₂'de +3, HNO₃'de ise +5'dir. Aynı elementin yükseltgenme basamağı hem arttığı hem de azaldığından bu bir yarıma tepkimesidir.

Alıştırma Aşağıdaki redoks tepkimelerini türlerine göre sınıflandırınız:

- (a) $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$
- (b) $\text{S} + 3\text{F}_2 \longrightarrow \text{SF}_6$
- (c) $2\text{CuCl} \longrightarrow \text{Cu} + \text{CuCl}_2$
- (d) $2\text{Ag} + \text{PtCl}_2 \longrightarrow 2\text{AgCl} + \text{Pt}$

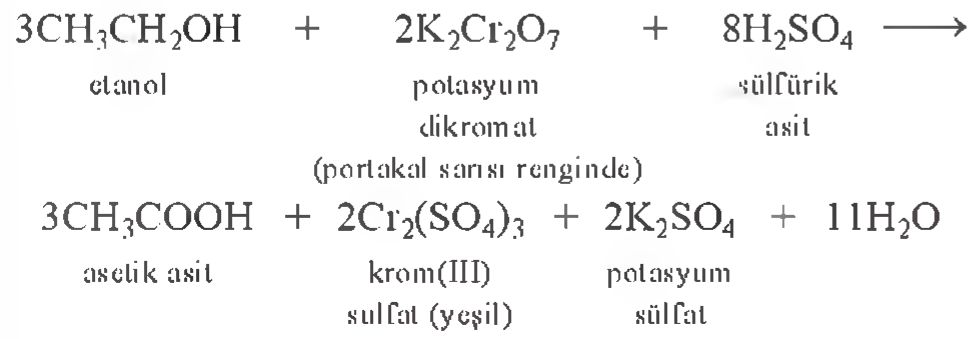
Benzer problemler: 4.55, 4.56.

KİMYA İş Başında

Nefes Analiz Cihazı (Alkolmetre)

Birleşik Devletlerde her yıl içkili araç kullanımı sonucu 25000 kişi ölmekte ve 500000 kişi de yaralanmaktadır. Her ne kadar toplum alkollü araç kullanımının tehlikeleri ile ilgili olarak eğitime çalışılsa da, alkollü araç kullanımı için ağırlaştırılmış sert cezalar olsa da, alkollü sürücülerin Amerika karayollarından uzaklaştırılması için yasa uygulayıcıların daha ciddi önlemler almaları gerekmektedir.

Polisler, sarhoş olduğundan şüphelenilen sürücülerini kontrol etmek için çoğunlukla nefes analiz cihazı yani alkolmetre adı verilen bir cihaz kullanırlar. Bu cihazın kimyasal temeli bir redoks tepkimesidir. Bu işlemde, sürücünün nefesi üfleme ile bir alkolmetreye alınır ve burada asidik potasyum dikromat çözeltisi ile etkileşime girer. Aşağıda gösterilen eşitlikte olduğu gibi, nefesteki alkol (etanol) asetik aside dönüşür:

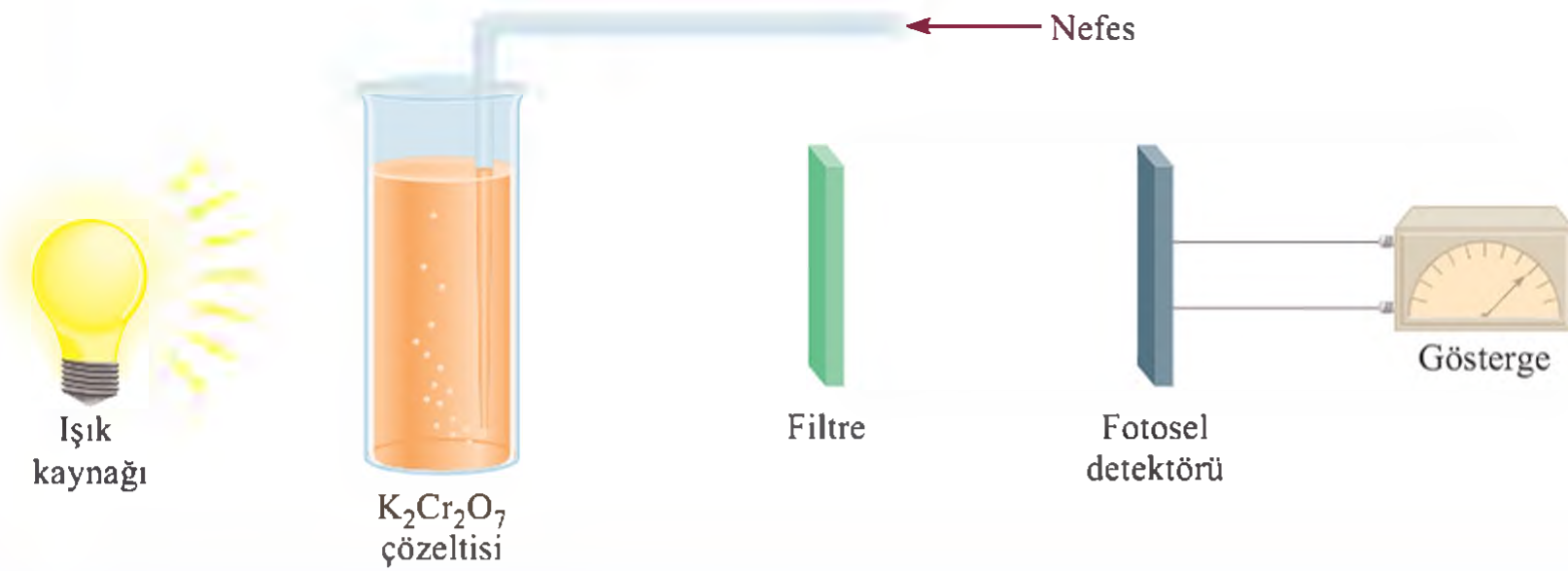


Bu tepkimede etanol asetik aside yükseltgenir ve dikromattaki turuncu-sarı krom (VI), yeşil krom (III) iyonuna dönüşür (bak.



Bir sürücünün kanındaki alkol içeriği, taşınabilir bir alkolmetre cihazı ile test edilmektedir.

Şekil 4.22). Bu renk değişiminin seviyesi daha önceden kalibre edilmiş cihazdan okunarak, sürücünün kanındaki alkol oranı hızlı bir biçimde belirlenir. Kandaki yasal alkol sınırı kütlece yüzde 0,08'dir. Bundan daha fazlası sarhoşluğa neden olur.



Alkolmetrenin şematik gösterimi. Sürücünün nefesinde bulunan alkol, potasyum dikromat çözeltisi ile tepkimeye girer. Krom(III) sülfat oluşumuna göre ışık soğurmasındaki değişiklikler detektör ile kaydedilir ve cihaz kandaki alkol miktarını doğrudan gösterir. Filtre sadece ölçülecek olan ışığın dalga boyunu seçer.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki birleşme tepkimelerinden hangisi redoks tepkimesi değildir?

- (a) $2\text{Mg}(k) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{MgO}(k)$
- (b) $\text{H}_2(g) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{HF}(g)$
- (c) $\text{NH}_3(g) + \text{HCl}(g) \longrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(k)$
- (d) $2\text{Na}(k) + \text{S}(k) \longrightarrow \text{Na}_2\text{S}(k)$

Yukarıdaki “Kimya İşbaşında” okuma parçasında, alkollü sürücülerini yakalamakta kolluk kuvvetlerinin redoks tepkimelerini nasıl kullandıkları anlatılmaktadır.

4.5 Çözelti Derişimleri

Çözelti stokiyometrisini kullanırken, çözeltide ne kadar tepken olduğunu ve tepkimeyi sağlamak için gereken tepken miktarını nasıl sağlayacağımızı bilmemiz gerekir.

Bir çözeltinin derişimi. belli miktardaki çözelti ya da çözücü içerisinde çözünen madde miktarıdır (Biz burada, çözünen maddeyi sıvı ya da katı, çözücüyü ise sıvı olarak ele alacağız). Bölüm 12’de ayrıntılı olarak göreceğimiz gibi çözelti derişimi pek çok birim ile belirtilebilir. Ancak burada, kimyada en yaygın derişim birimi olan **molarite (M)** ya da **molar derişim dikkate alınacaktır. Molarite, 1 litre çözeltide çözünen maddenin mol sayısıdır ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.**

$$\text{molarite} = \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözeltinin litresi}} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1 aynı zamanda matematiksel olarak da ifade edilebilir.

$$M = \frac{n}{V} \quad (4.2)$$

V’nin, litre cinsinden çözeltinin hacmi olduğunu, çözücünün litresi olmadığını unutmayınız. Ayrıca, bir çözeltinin molaritesi sıcaklığa bağlıdır.

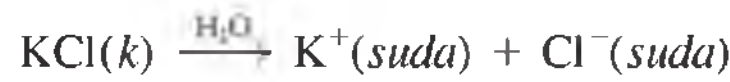
Burada, n çözünen maddenin mol sayısını, V ise çözeltinin litre cinsinden hacmini belirtir.

1,46 molar glukoz ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) çözeltisi (1,46 M $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ şeklinde yazılır), 1 L çözeltide 1,46 mol ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) çözünen madde içerir. Elbette her zaman çözelti hacmi 1 L olan çözeltiler ile çalışmıyoruz. Örneğin, 0,730 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ içeren 500 mL çözeltinin derişimi de 1,46 M’dır:

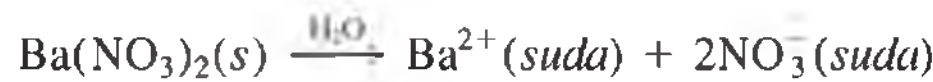
$$\text{molarite} = \frac{0,730 \text{ mol } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{500 \text{ mL çöz.}} \times \frac{1000 \text{ mL çöz.}}{1 \text{ L çöz.}} = 1,46 \text{ M } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Derişimin, tıpkı yoğunluk gibi, şiddet özelliğine sahip olduğuna ve çözeltinin miktarına bağlı olmadığına dikkat edelim.

Molaritenin başlangıçta çözünen madde miktarını ifade ettiğini, tuzun ayrışması veya asidin iyonlaşması gibi başlangıçtaki maddenin sonradan gerçekleşen olaylarını dikkate almadığını unutmayalım. Örneğin bir KCl örneğinin 1M çözeltisini hazırlamak için yeterli miktarda KCl suda çözüldüğünde neler olduğunu düşünelim:



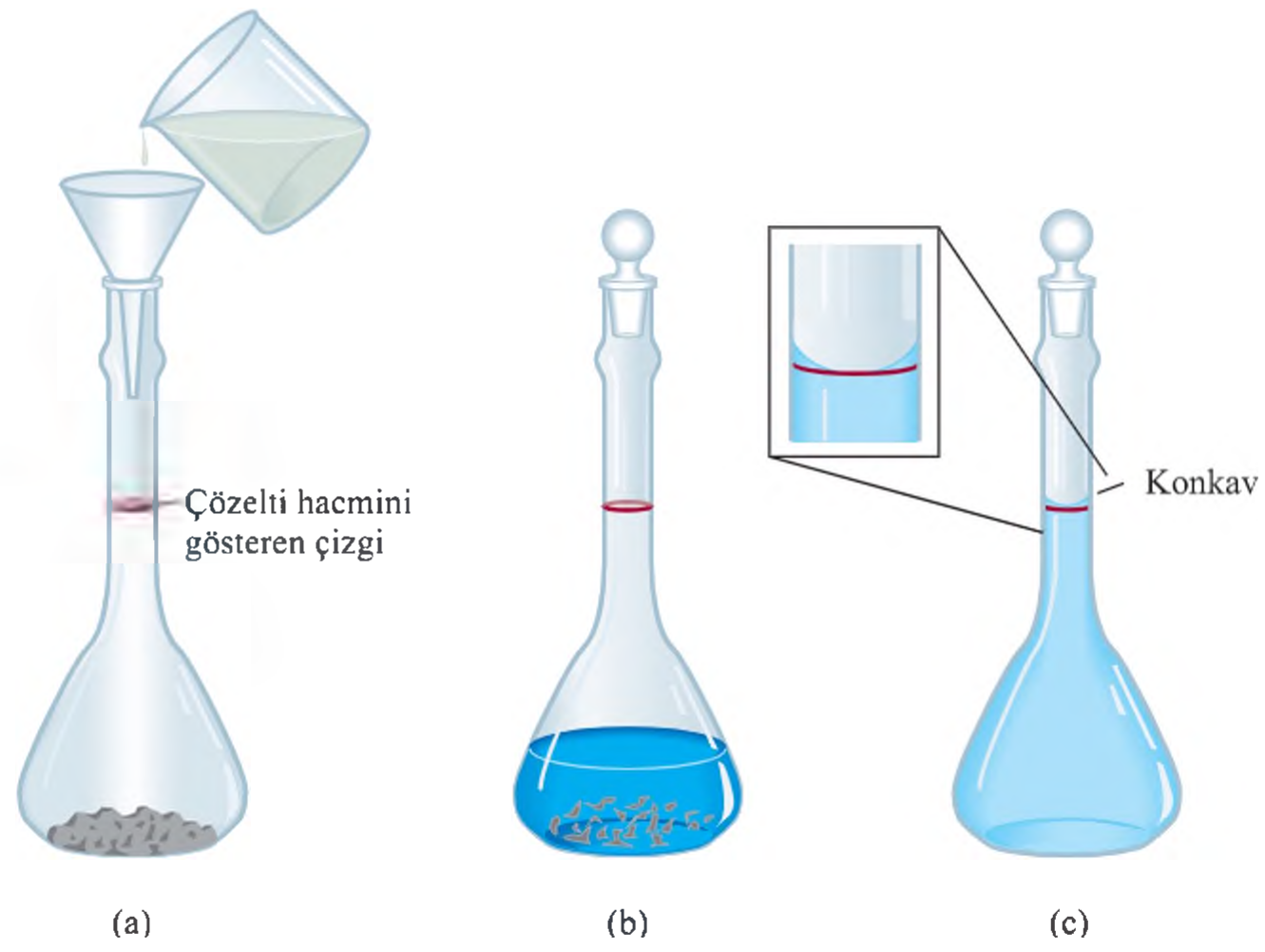
KCl kuvvetli bir elektrolit olduğundan çözelti tamamen iyonlaşır. Dolayısıyla, 1M KCl çözeltisi 1 mol K^+ iyonu ve 1 mol Cl^- iyonu içerirken, KCl birimleri bulunmaz. İyonların derişimleri $[\text{K}^+] = 1\text{M}$ ve $[\text{Cl}^-] = 1\text{M}$ olarak ifade edilir. Burada köşeli parantezler [] molarite cinsinden ifade edilen derişimi belirtir. Benzer bir biçimde 1M baryum nitrat $[\text{Ba}(\text{NO}_3)_2]$ çözeltisi, $[\text{Ba}^{2+}] = 1\text{M}$ ve $[\text{NO}_3^-] = 2\text{M}$ içerirken, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ birimleri bulunmaz.



Molar derişimi tam bilinen bir çözelti şöyle hazırlanır. Önce, çözünen madde hassas olarak tartılır ve bir ölçülü cam balon içerisine hunu yardımıyla aktarılır (Şekil 4.18). Daha sonra, cam balona katıyı çözmek için bir miktar su ilave edilip dikkat-

 Animasyon
Çözelti hazırlama.

Şekil 4.18 Bilinen derişimde bir çözelti hazırlanması. (a) Katı çözünenin bilinen miktarı ölçülü balona aktarılır ve üzerine huni yardımıyla su ilave edilir. (b) Balon yavaşça çalkalanarak katı çözülür. (c) Katı tamamen çözüldükten sonra, ölçülü balonun işaret çizgisine kadar su ilave edilir. Çözelti hacmi ve çözünen madde miktarını biliniyorsa, hazırlanan çözeltinin molaritesi hesaplanabilir.



lice çalkalanarak karıştırılır. *Tüm* katı çözüldükten sonra balon ölçü çizgisine kadar su ile doldurulur. Çözeltinin hacmi ve çözünen madde miktarı (mol miktarı) bilindiğinden, çözeltinin molaritesi Eşitlik (4.1) kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemde son çözelti hacminin bilinmesi koşulu ile başlangıçta katıyı çözmek için ilave edilen suyun miktarının bilinmesine gerek yoktur.

Örnek 4.7 ve Örnek 4.8, Eşitlik (4.1) ve (4.2)'nin uygulamalarını göstermektedir.



Bir $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi.

Örnek 4.7

Derişimi 2.16 M olan 250 mL bir çözelti hazırlamak için kaç gram potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) gereklidir?

İzlenecek Yol 1L (ya da 1000 mL) 2.16 M $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi hazırlamak için kaç mol $K_2Cr_2O_7$ gereklidir? 250 mL çözelti hazırlamak için ne kadar gerekir? Mol grama nasıl çevrilir?

Çözüm Öncelikle 250 mL (0.250 L) hacminde 2.16 M $K_2Cr_2O_7$ çözeltisinde kaç mol $K_2Cr_2O_7$ olduğu bulunur. Eşitlik (4.1)'i yeniden düzenleyelim.

$$\text{mol çözünen} = \text{molarite} \times \text{L çözelti}$$

Dolayısı ile,

$$\begin{aligned} K_2Cr_2O_7\text{'ün molü} &= \frac{2,16 \text{ mol } K_2Cr_2O_7}{1 \text{ L-özl.}} \times 0,250 \text{ L-özl.} \\ &= 0,540 \text{ mol } K_2Cr_2O_7 \end{aligned}$$

$K_2Cr_2O_7$ 'ın mol kütlesi 294,2 g olduğuna göre:

$$\begin{aligned} K_2Cr_2O_7\text{'ın gereken gramı} &= 0,540 \text{ mol } K_2Cr_2O_7 \times \frac{294,2 \text{ g } K_2Cr_2O_7}{1 \text{ mol } K_2Cr_2O_7} \\ &= 159 \text{ g } K_2Cr_2O_7 \end{aligned}$$

(Devamı)

Kontrol Yaklaşık bir hesaplama yapılırsa gerekli $K_2Cr_2O_7$ kütlesi şu şekilde bulunabilir; [molarite (mol/L) \times hacim (L) \times mol kütlesi (g/mol)] ya da $[2 \text{ mol/L} \times 0,25 \text{ L} \times 300 \text{ g/mol}] = 150 \text{ g}$. Buna göre cevap mantıklıdır.

Alıştırma 1,77 g etanol (C_2H_5OH) içeren 85,0 mL etanol (C_2H_5OH) çözeltisinin molaritesi nedir?

Benzer problemler: 4.65, 4.68.

Örnek 4.8

Bir biyokimyasal araştırmada, bir kimyagerin tepkime karışımına 3,81 g glukoz eklemesi gerekmektedir. Bu ekleme için 2,53M glukoz çözeltisinden kaç mililitre kullanması gerektiğini hesaplayınız.

İzlenecek Yol 3,81 g glukozun kaç mol olduğunu hesaplayıp daha sonra Eşitlik (4.2)'yi kullanarak hacim hesaplanır.

Çözüm Glukozun mol kütlesinden

$$3,81 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180,2 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 2,114 \times 10^{-2} \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

yazılır. Daha sonra $2,114 \times 10^{-2}$ mol çözünen madde içeren çözeltinin hacmi hesaplanır. Eşitlik (4.2) yeniden düzenlenir:

$$\begin{aligned} V &= \frac{n}{M} \\ &= \frac{2,114 \times 10^{-2} \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{2,53 \text{ mol } C_6H_{12}O_6/\text{L çöz.}} \times \frac{1000 \text{ mL çöz.}}{1 \text{ L çöz.}} \\ &= 8,36 \text{ mL çöz.} \end{aligned}$$

Kontrol Bir litre çözelti 2,53 mol $C_6H_{12}O_6$ içerir. Dolayısıyla 8,36 mL ($8,36 \times 10^{-3}$ L) deki mol sayısı ($2,53 \text{ mol} \times 8,36 \times 10^{-3}$) veya $2,12 \times 10^{-2}$ mol'dür. Aradaki küçük fark yuvarlama yöntemindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Alıştırma 0,315 M NaOH çözeltisinin hangi hacmi (mililitre cinsinde) 6,22g NaOH içerir?

Ara basamakta anlamlı sayıdan bir sonraki haneyi de dikkate aldığımıza dikkat ediniz.

Benzer problem: 4.67.

Çözeltilerin Seyreltilmesi

Derişik çözeltiler laboratuvar depolarında, gerektiğinde seyreltik çözeltiler hazırlanmak üzere muhafaza edilirler. Bu derişik "stok" çözeltiler kullanmadan önce genellikle seyreltilir. **Seyreltme**, derişimi daha yüksek bir çözeltiden derişimi daha düşük bir çözelti hazırlama işlemidir.

1,00 M $KMnO_4$ çözeltisinden 1 L hacminde 0,400 M $KMnO_4$ çözeltisi hazırlamak istediğimizi varsayalım. Bunun için 0,400 mol $KMnO_4$ 'e ihtiyacımız vardır. 1L'lık 1,00 M $KMnO_4$ çözeltisinde 1,00 mol $KMnO_4$ olduğuna göre, aynı çözeltinin 0,400 litresinde 0,400 mol $KMnO_4$ var demektir.

$$\frac{1,00 \text{ mol}}{1 \text{ L çöz.}} = \frac{0,400 \text{ mol}}{0,400 \text{ L çöz.}}$$

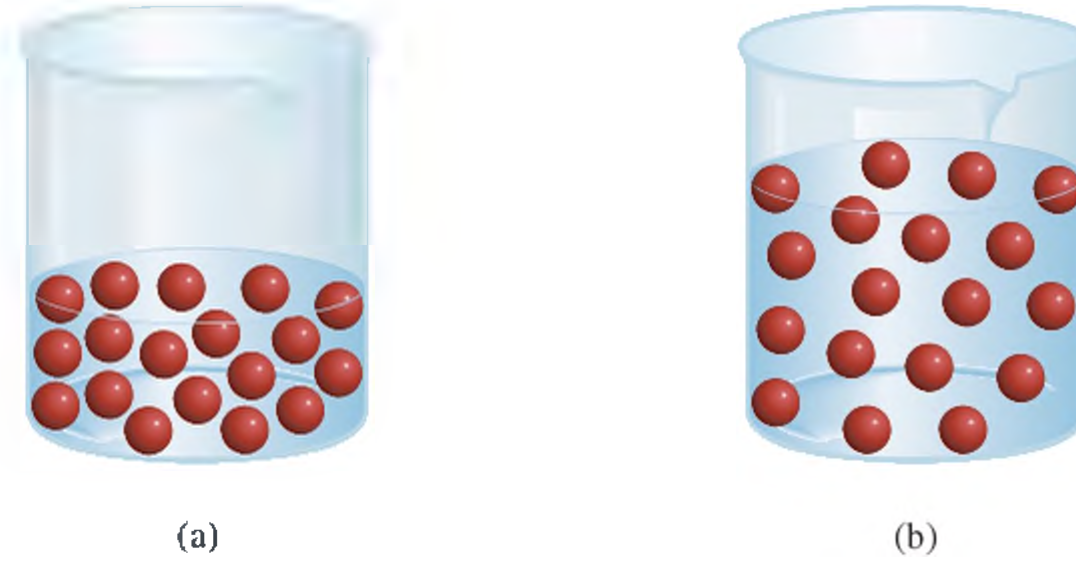
O halde, 1,00 M $KMnO_4$ çözeltisinden 400 mL hacminde çözelti alınır ve 1L'lık ölçülü balon içerisine aktararak su ile 1000 mL'ye tamamlanır. Bu yöntem ile istenilen 1L'lık 0,400 M $KMnO_4$ çözeltisi hazırlanmış olur.

Animasyon
Seyrelterek çözelti hazırlama



Farklı derişimlerde iki $KMnO_4$ çözeltisi.

Şekil 4.19 Yüksek derişimli bir çözeltinin (a), düşük derişime seyreltilmesi (b), çözünen taneciklerin toplam sayısını (18) değiştirmez.



Seyreltme işlemi sırasında, alınan belirli miktardaki stok çözelti üzerine çözücü eklenmesi, çözelti derişimini azaltır, ancak çözelti içerisindeki çözünen madde miktarı değiştirmez. (Şekil 4.19). Diğer bir deyişle:

Seyreltme işleminden önce çözünenin mol sayısı = seyreltme işleminden sonra çözünenin mol sayısı

Molarite 1 litre çözeltideki çözünenin mol sayısı olarak tanımlandığına göre, çözünenin mol sayısı da şöyle verilebilir:

$$\underbrace{\frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözeltinin litresi}}}_M \times \underbrace{\text{çözeltinin hacmi (litre)}}_V = \underbrace{\text{çözünenin molü}}_n$$

veya

$$MV = n$$

Çözünen maddenin tümü başlangıç stok çözeltisinden geldiğine göre aşağıdaki eşitliği yazabiliriz:

$$\underbrace{MV_i}_{\text{seyrelmeden önceki çözünenin molü}} = \underbrace{M_s V_s}_{\text{seyrelmeden sonraki çözünenin molü}} \quad (4.3)$$

Burada M_i ve M_s çözeltinin molarite cinsinden ilk ve son derişimlerini, V_i ve V_s ise çözeltinin ilk ve son hacimlerini göstermektedir. V_i ve V_s 'nin birimleri hesaplamalarda aynı (mL veya L) olmak zorundadır. Elde edilen sonuçlarda, $M_i > M_s$ ve $V_s > V_i$ karşılaştırmaları yapılabilir.

Eşitlik (4.3)'ü Örnek 4.9'da uygulayalım.

Örnek 4.9

8,61 M H_2SO_4 çözeltisinden başlayarak $5,00 \times 10^2$ mL 1,75 M H_2SO_4 çözeltisinin nasıl hazırlanacağını açıklayınız.

İzlenecek Yol Son çözeltinin derişimi başlangıç çözeltisine göre daha az olduğu için, bu bir seyreltme işlemidir. Seyreltme işleminde, çözeltinin derişimi azalır ancak çözünen madde miktarı değişmez.

Çözüm Hesaplama için veriler şöyle düzenlenebilir:

$$\begin{array}{ll} M_i = 8,61 M & M_s = 1,75 M \\ V_i = ? & V_s = 5,00 \times 10^2 \text{ mL} \end{array}$$

(Devamı)

Bu verileri Eşitlik 4.3'de yerine koyarsak:

$$\begin{aligned}(8,61 \text{ M})(V_i) &= (1,75 \text{ M})(5,00 \times 10^2 \text{ mL}) \\ V_i &= \frac{(1,75 \text{ M})(5,00 \times 10^2 \text{ mL})}{8,61 \text{ M}} \\ &= 102 \text{ mL}\end{aligned}$$

Buna göre, 102 mL 8.61 M H₂SO₄ çözeltisi, 500 mL'lik ölçülü balon içerisine alınıp su ile 5,00 × 10² mL'ye tamamlanırsa, istenen derişimde çözelti elde edilmiş olur.

Kontrol Derişik çözeltiden alınan başlangıç hacmi son hacimden azdır, dolayısıyla, cevap mantıklıdır.

Alıştırma 5.07 M stok NaOH çözeltisinden 2.00 × 10² mL 0.866 M NaOH çözeltisi nasıl hazırlanır?

Benzer problemler: 4.75, 4.76.

Kavramların Değerlendirilmesi

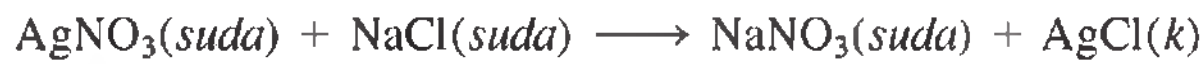
0,6 M NaCl çözeltisinin hacmi iki katına çıkartılıp, çözünen maddenin mol sayısı üç katına çıkartılırsa çözeltinin son derişimi ne olur?

Çözelti derişimleri ve seyreltilmesini incelediğimize göre çözelti stokiometrisini veya sulu çözeltelerde gerçekleşen tepkimeleri nicel olarak inceleyebiliriz. Aşağıdaki 4.6-4.8 bölümleri, çözelti stokiometrisi ile ilgili iki teknik olan, gravimetrik analiz ve titrasyon ile ilgilidir. Bu teknikler, herhangi bir numunedeki madde miktarı veya derişimin belirlenmesi için *nicel analiz* yöntemleridir.

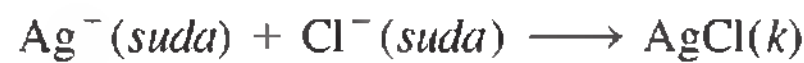
4.6 Gravimetrik Analiz

Gravimetrik analiz, *kütle ölçümüne dayanan analitik bir tekniktir*. Gravimetrik analiz, katı çökelek oluşumu, bunun ayrılması ve kütlelerinin belirlenmesini içerir. Genellikle bu işlem iyonik bileşiklere uygulanır. Bunun için, bileşimi bilinmeyen bir örnek suda çözülür ve bir başka madde ile tepkimeye sokularak çökelek oluşması sağlanır. Daha sonra çökelek süzülür, kurutulur ve tartılır. Oluşan çökeleğin kütlesi ve kimyasal formülü bilindiğinden, başlangıçtaki örnek bileşeninin (anyon veya katyon) kütlesi hesaplanabilir. Son olarak, bileşenin kütlesi ve başlangıçtaki örneğin kütlesinden, bileşenin kütlece yüzdesi tayin edebilir.

Tepkenler saf halde temin edilebildiğinden aşağıdaki tepkime gravimetrik analizde oldukça sık kullanılır.

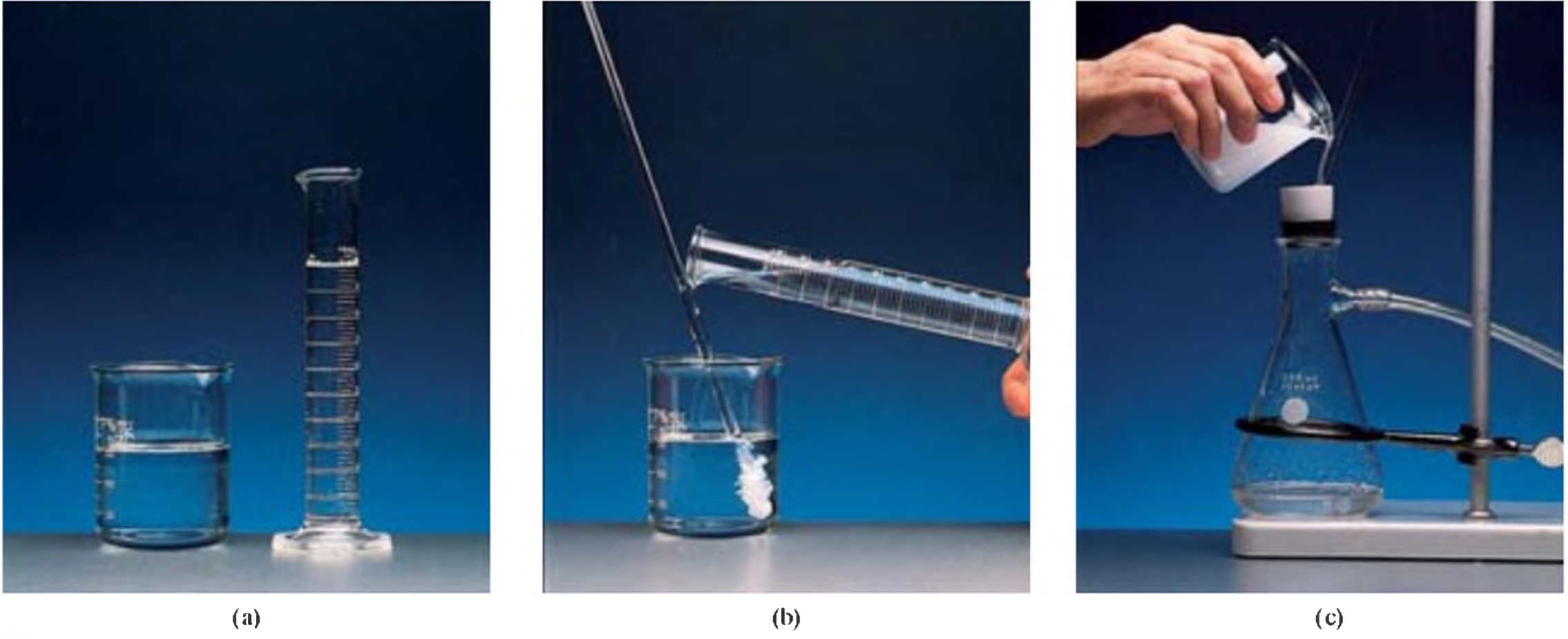


Net iyonik tepkime şu şekildedir.



Burada elde edilen çökelek AgCl'dür (bak. Çizelge 4.2). Bir örnek olarak, diyelim ki NaCl'deki Cl'un kütlece yüzdesini *deneysel* olarak bulmak istiyoruz. Önce NaCl örneğini hassas bir şekilde tartıp suda çözmeliyiz. Daha sonra NaCl çözeltisine yeterli kadar AgNO₃ çözeltisi ekleyerek çözeltideki tüm Cl⁻ iyonlarının AgCl olarak çökmesini sağlamalıyız. Bu yöntemde NaCl sınırlayıcı bileşen, AgNO₃ ise aşırı bileşendir. AgCl

Bu yöntem, NaCl örneğinin saflığını belirlememizi sağlar.



Şekil 4.20 Gravimetrik analizde temel basamaklar. (a) Beherde, miktarı bilinen NaCl çözeltisi. (b) Ölçülü silindirden AgNO_3 çözeltisinin eklenmesi ile AgCl 'ün çöktürülmesi. Bu tepkimede AgNO_3 aşırı, NaCl ise sınırlayıcı bileşendir. (c) Önceden tartılmış, sıvı geçişine izin veren fakat çökeleğe izin vermeyen, sinterli-disk kroze ile AgCl çökeleğini içeren çözelti süzülür. Daha sonra kroze düzeneden çıkarılır ve fırında kurutulup tekrar tartılır. Bu kütle ile boş krozenin kütlesi arasındaki fark AgCl çökeleğinin kütlesini verir.

çökeleği süzme yoluyla çözeltiden ayrılır, kurutulur ve tartılır. Ölçülen AgCl kütlesinden, AgCl içerisindeki Cl^- ün kütlece yüzdesini kullanarak, örnekteki Cl kütlesini hesaplayabiliriz. Başlangıçtaki NaCl örneğindeki Cl miktarı aynı olduğundan, NaCl içerisindeki Cl^- ün kütlece yüzde miktarını hesaplayabilir, saflık oranını belirleyebiliriz. Şekil 4.20 bu yöntemin nasıl uygulandığını göstermektedir.

Örneğin kütlesi tam olarak ölçülebildiğinden, gravimetrik analiz doğruluk derecesi oldukça yüksek bir yöntemdir. Ancak, bu yöntem tamamlanan ya da hemen hemen %100 verimle oluşan tepkimelere uygulanabilir. Örneğin, AgCl suda bir miktar çözünür olsaydı, NaCl çözeltisinden Cl^- iyonlarının tamamı uzaklaştırılmaz ve sonuçta yapılan hesaplamalar hatalı sonuç verirdi.

Örnek 4.10 gravimetrik analiz ile ilgili hesaplamaları göstermektedir.

Örnek 4.10

Klorür iyonları ve bir metal iyonu içeren 0,5662 g'lık bir iyonik bileşik suda çözülmemekte ve aşırı AgNO_3 ile tepkimeye sokulmaktadır. Tepkime sonucunda, 1,0882 gram AgCl çökeleği oluştuğuna göre, başlangıçtaki örnekte klorün kütlece yüzdesi nedir?

İzlenecek Yol Örnekteki Cl^- ün kütlece yüzdesini hesaplamamız isteniyor.

$$\% \text{Cl} = \frac{\text{Cl miktarı}}{0,5662 \text{ g örnek}} \times \%100$$

Cl^- iyonlarının tek kaynağı başlangıç bileşiğidir. Bu iyonların tamamı sonuçta AgCl çökeleğine dönüşecektir. Eğer AgCl 'deki Cl^- ün kütlece yüzdesini bulursak, Cl^- iyonlarının kütlesini hesaplayabilir miyiz?

(Devamı)

Çözüm Cl ve AgCl'ün mol kütleleri sırası ile 35,45 g/mol ve 143,4 g/mol'dür. Buna göre AgCl'deki Cl'un kütlece yüzdesi:

$$\begin{aligned}\%Cl &= \frac{35,45 \text{ g Cl}}{143,4 \text{ g AgCl}} \times \%100 \\ &= \%24,72\end{aligned}$$

Daha sonra 1,0882 g AgCl'deki Cl miktarı hesaplanır. Bunun için önce % 24,72'yi 0,2472 şekline dönüştürerek yazarız ve buna göre

$$\begin{aligned}\text{Cl' un kütlesi} &= 0,2472 \times 1,0882 \text{ g bulunur.} \\ &= 0,2690 \text{ g}\end{aligned}$$

Başlangıç bileşik de aynı miktarda Cl içerdiğinden, bileşikteki Cl'un kütlece yüzdesi:

$$\begin{aligned}\%Cl &= \frac{0,2690 \text{ g}}{0,5662 \text{ g}} \times \%100 \\ &= \%47,51\end{aligned}$$

Kontrol AgCl kütlelerinin yaklaşık yüzde 25'ini Cl oluşturur ve kabaca 1g AgCl çökeleğinin 0,25 g'ı klor'a karşılık gelir ki bu da orijinal örneğin kütlelerinin yarısından çok az küçüktür. Dolayısı ile hesaplanan % 47,51 klorür miktarı mantıklıdır.

Alıştırma Bromür iyonu (Br⁻) içeren 0,3220 gramlık bir iyonik bileşik örneği suda çözülmemekte ve üzerine aşırı AgNO₃ ilave edilmektedir. Oluşan AgBr çökeleğinin kütlesi 0,6964 g olduğuna göre, başlangıç bileşiğindeki Br'un kütlece yüzdesi nedir?

Benzer problem: 4.82.

Gravimetrik analizim, bilinmeyen bileşenin kimliğini tamamen ortaya çıkarmadığına dikkat edelim. Dolayısıyla, Örnek 4.10'daki katyonun hangisi olduğunu halen bilmiyoruz. Ancak yine de Cl'nin kütlece yüzdesini bilmek bazı olasılıkların daraltılmasına yardımcı olur. Aynı anyonu (ya da katyonu) içeren hiçbir bileşiğin kütlece yüzde bileşimi aynı olmadığından, gravimetrik analiz sonucunda hesaplanan kütlece yüzde ile bir seri bilinen bileşikteki kütlece yüzdelere karşılaştırıldığında, bilinmeyen ortaya çıkartılabilir.

Kavramların Değerlendirilmesi

6,00 g KBr içeren çözelti aşırı miktarda AgNO₃ ile etkileştirildiğinde oluşan AgBr'in kütlesi nedir?

4.7 Asit-Baz Titrasyonları

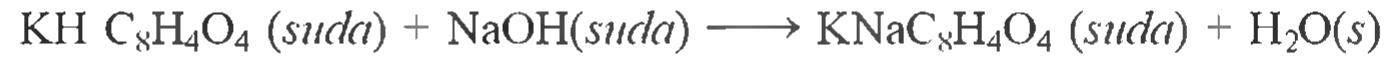
Asit-baz nötralleşme tepkimelerine dayanan nicel tayinler, **titrasyon** olarak bilinen yöntemle yapılır. **Titrasyon**'da derişimi kesin olarak bilinen çözelti yani **standart çözelti**, derişimi bilinmeyen çözelti üzerine, tepkime tamamlanmıca kadar yavaş yavaş ilave edilir. Eğer kullanılan standart çözelti ve bilinmeyen çözeltinin hacimleri biliniyorsa, titrasyonda kullanılan standart çözeltinin derişiminden, bilinmeyen çözeltinin derişimi hesaplanabilir.



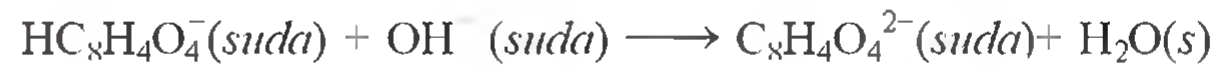
Potasyum hidrojen ftalat (KHP).

KHP zayıf bir asittir.

Sodyum hidroksit laboratuvarında en çok kullanılan bazlardan birisidir. Ancak saf halde katı sodyum hidroksit temin etmek, sodyum hidroksitin havadaki suyu tutması ve çözeltisinin karbondioksit ile tepkimeye girmesi sebebi ile oldukça zordur. Bu sebeple, sodyum hidroksit çözeltisi bir analitik çalışmada kullanılmadan önce *standardize* edilmelidir yani ayarlanmalıdır. Sodyum hidroksit çözeltisini, derişimini tam olarak bilinen bir asit çözeltisine karşı titre ederek ayarlayabiliriz. Bu iş için sıklıkla seçilen asit, molekül formülü $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ (mol kütlesi = 204,2 g) olan tek protonlu potasyum hidrojen ftalatdır (KHP). KHP yüksek saflıkta ticari olarak bulunabilen, beyaz renkli çözünebilir bir katıdır. KHP ile sodyum hidroksit arasındaki tepkime aşağıdaki gibidir.



Net iyonik eşitlik:



Titrasyon işlemi Şekil 4.21’de görülmektedir. Bu titrasyonda ilk olarak miktarı tam olarak bilinen KHP tartılarak erlene konur ve üzerine biraz saf su ilave edilerek çözülür. Daha sonra, büretteki NaOH çözeltisi KHP çözeltisi üzerine **eşdeğerlik noktasına** ulaşmaya kadar kontrollü olarak eklenir. **Eşdeğerlik noktası** asitin baz ile tamamen tepkimeye girdiği ya da nötrleştiği noktadır. Eşdeğerlik noktası genellikle çözeltiye önceden ilave edilen bir kimyasal **indikatörün** keskin renk değişimi ile anlaşılır. Asit-baz titrasyonlarında kullanılan **indikatörler**, asidik ve bazik ortamlarda değişik renklere sahip maddelerdir. En çok kullanılan indikatörlerden biri fenolftaleindir. Bu indikatör asidik ve nötr çözeltilerde renksiz, bazik çözeltilerde ise kırmızımsı pembe olur. Eşdeğerlik noktasında, ortamdaki KHP’nı tamamı ilave edilen NaOH ile nötrleşmiştir ve çözelti hala renksizdir. Ancak, büretten fazladan bir damla daha NaOH çözeltisi ilave edilirse, çözelti birden pembeye döner. Bunun nedeni, indikatörün baz ortamındaki renginin pembe olmasıdır. Örnek 4.11 böyle bir titrasyonu göstermektedir.

Şekil 4.21 (a) Asit-baz titrasyonu için düzenek. Büretteki NaOH çözeltisi, erlen içindeki KHP çözeltisine ilave edilir. (b) Eşdeğerlik noktasına ulaşıldığında kırmızımsı-pembe renk açığa çıkar. Burada renk, görsellik için kuvvetlendirilmiştir.



(a)



(b)

Örnek 4.11

Bir titrasyon deneyinde, bir öğrenci 0.5468 g KHP'yi nötralleştirmek için 23,48 mL NaOH çözeltisi gerektiğini bulmuştur. Buna göre NaOH çözeltisinin molarite cinsinden derişimi nedir?

İzlenecek Yol NaOH çözeltisinin molaritesini bulmak istiyoruz. Molaritenin tanımı nedir?

$$\text{NaOH molaritesi} = \frac{\text{mol NaOH}}{\text{L çözl.}}$$

↑ hesaplamak istenen
↑ bulunmak istenen
↑ verilen

NaOH çözeltisinin hacmi problemde veriliyor. Ancak, molariteyi bulmak için NaOH'in mol sayısını bulmamız gerekir. Daha önce verilen KHP ve NaOH arasındaki tepkimeye göre 1 mol KHP, 1 mol NaOH'i nötralleştirir. O halde 0,5468 g KHP kaç mol KHP etmektedir?

Çözüm Önce, titrasyonda harcanan KHP mol sayısını buluruz.

$$\begin{aligned} \text{KHP molü} &= 0,5468 \text{ g KHP} \times \frac{1 \text{ mol KHP}}{204,2 \text{ g KHP}} \\ &= 2,678 \times 10^{-3} \text{ mol KHP} \end{aligned}$$

1 mol KHP = 1 mol NaOH ilişkisinden 23,48 mL NaOH çözeltisinde $2,678 \times 10^{-3}$ mol NaOH olmalıdır. Son olarak, aşağıdaki gibi 1L çözeltideki NaOH mol sayısını hesaplarız. Bu da bize NaOH'in molar derişimini verir.

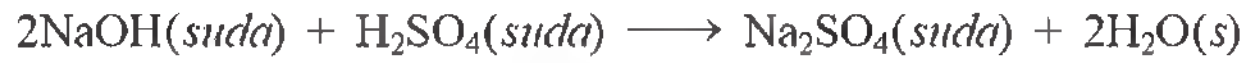
$$\begin{aligned} \text{NaOH çözl. molaritesi} &= \frac{2,678 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}}{23,48 \text{ mL çözl.}} \times \frac{1000 \text{ mL çözl.}}{1 \text{ L çözl.}} \\ &= 0,1141 \text{ mol NaOH/1 L çözl.} = 0,1141 \text{ M} \end{aligned}$$

Alıştırma 0,1004 M NaOH çözeltisinin 18,64 mL'sini nötralleştirmek için kaç gram KHP gerekir?

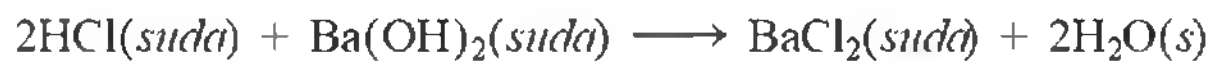
KHP'nin $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ olduğunu hatırlayalım.

Benzer problemler: 4.89, 4.90.

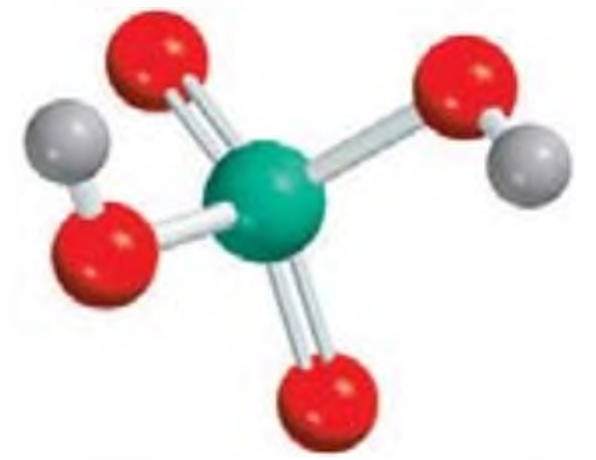
NaOH ve KHP arasındaki nötralleşme tepkimesi, asit-baz nötralleşme tepkimele-
rinin en basitlerindendir. Bu titrasyonda KHP yerine H_2SO_4 gibi iki protonlu bir asit
kullandığımızı düşünelim. Bu durumda tepkime aşağıdaki gibi olur.



Tepkime stokiyometrisine göre 2 mol NaOH \approx 1 mol H_2SO_4 olup, H_2SO_4 'in iki katı
NaOH gereklidir. Halbuki NaOH ile tek protonlu bir asit olan HCl tepkimeye gir-
seydi, tepkime eşit mol sayısında asit ve baz harcanmasıyla gerçekleşecekti. Diğer
yandan, HCl'nin $\text{Ba}(\text{OH})_2$ çözeltisini nötralleştirmesi için, NaOH ile kıyaslandığında
aynı derişimdeki HCl'den iki kat gerekecektir. Bunun nedeni 1 mol $\text{Ba}(\text{OH})_2$ in 2 mol
 OH^- iyonu vermesidir.



Asit-baz titrasyonları hesaplamalarında, tepkimede yer alan asit ya da bazın ne oldu-
ğuna bakmaksızın, eşdeğerlik noktasına kadar tepkimeye giren H^+ iyonu mol sayısının,
tepkimeye giren OH^- iyonu mol sayısına eşit olması gerektiğini unutmayınız.



H_2SO_4 iki tane iyonlaşabilir protona sahiptir.

Diprotik (iki protonlu) bir asitin. NaOH ile titrasyonuna ait bu uygulama Örnek 4.12'de gösterilmektedir.

Örnek 4.12

0.245 M H_2SO_4 çözeltisinin 20.0 mL'sini nötralleştirmek için 0.610 M NaOH çözeltisinden kaç mL gerekir?

İzlenecek Yol NaOH çözeltisinin hacmini hesaplamak istiyoruz. Molarite tanımından [bak. Eşitlik (4.1)],

$$\text{L çözl.} = \frac{\text{mol NaOH}}{\text{molaritesi}}$$

↑ bulunmak istenen
↑ verilen
↑ hesaplanmak istenen

Yukarıda verilen nötralleşme tepkimesinden, 1 mol H_2SO_4 'ün 2 mol NaOH'i nötralleştirdiğini anlıyoruz. 20.0 mL 0.245 M H_2SO_4 çözeltisindeki H_2SO_4 'ün mol sayısı nedir? Kaç mol NaOH, bu miktardaki H_2SO_4 'ü nötralleştirir?

Çözüm İlk önce 20.0 mL çözelti içindeki H_2SO_4 'ün mol miktarını hesaplamalıyız.

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ molü} &= \frac{0,245 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1000 \text{ mL-çözl.}} \times 20,0 \text{ mL-çözl.} \\ &= 4,90 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2\text{SO}_4 \end{aligned}$$

Tepkime stokiyometrisinden 1 mol $\text{H}_2\text{SO}_4 = 2$ mol NaOH olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre, tepkineye giren NaOH'in mol sayısı $2 \times 4,9 \times 10^{-3}$ mol, yani $9,80 \times 10^{-3}$ mol olmalıdır. Molaritenin tanımından [bak. Eşitlik (4.1)] aşağıdaki eşiklikleri yazabiliriz.

$$\text{çözeltinin litresi} = \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{molarite}}$$

veya

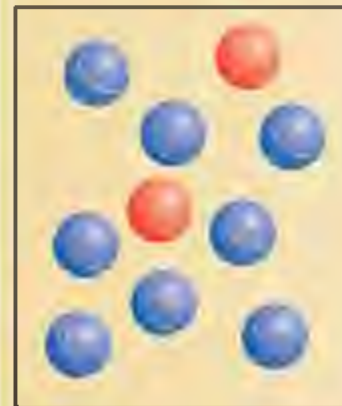
$$\begin{aligned} \text{NaOH hacmi} &= \frac{9,80 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}}{0,610 \text{ mol/L çözl.}} \\ &= 0,0161 \text{ L veya } 16,1 \text{ mL} \end{aligned}$$

Berzer problem m: 4.91(b), (c).

Alıştırma 0.427 M KOH çözeltisinin 60,2 mL'sini nötralleştirmek için 1.28 M H_2SO_4 çözeltisinden kaç mililitre gereklidir?

Kavramların Değerlendirilmesi

Bir NaOH çözeltisi ile bir asit çözeltisinin ilk andaki(başlangıçtaki) karışımı (a)'da verilmektedir. (b), (c) ve (d)'de gösterilenlerden hangisi şu asitlerden birine karşılık gelir; HCl, H_2SO_4 , H_3PO_4 ? Renk kodlaması: Mavi küreler (OH^- iyonları); kırmızı küreler (asit molekülleri); yeşil küreler (asitlerin anyonları). Bütün asit-baz nötralleşmelerinin tamamlandığını kabul ediniz.



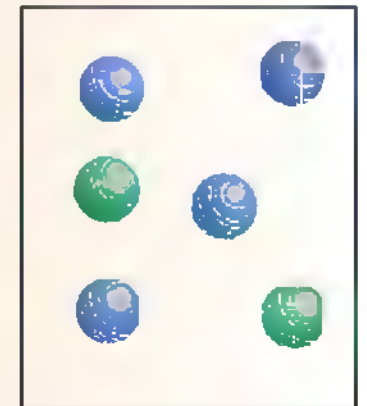
(a)



(b)



(c)



(d)



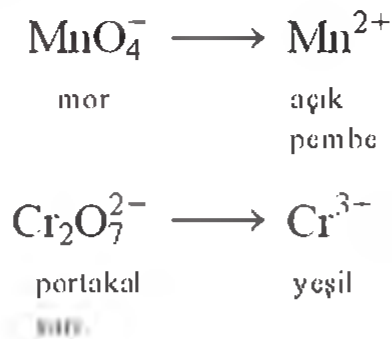
Şekil 4.22 Soldan sağa: MnO_4^- , Mn^{2+} , $Cr_2O_7^{2-}$ ve Cr^{3+} iyonlarını içeren çözeltiler.

4.8 Redoks Titrasyonları

Daha önce belirtildiği gibi, redoks tepkimeleri elektron aktarımı, asit-baz tepkimeleri ise proton aktarımı içerir. Tıpkı bir asitin bir baza karşı titre edilebilmesi gibi, benzer şekilde bir yükseltgen reaktif de bir indirgen reaktife karşı titre edilebilir. Örneğin yükseltgen bir reaktif içeren bir çözeltiyi, indirgen bir reaktif içeren diğer bir çözeltiye ilave ederek titrasyon gerçekleştirebiliriz. İndirgen tür, yükseltgen tür ile tamamen yükseltgendiğinde *eşdeğerlik noktasına* ulaşılır.

Asit-baz titrasyonlarında olduğu gibi, redoks titrasyonları da genelde renk değiştiren indikatörlere ihtiyaç duyarlar. Ortamda indirgen türün aşırısı bulunduğu anda, indikatörün indirgenmiş halinin karakteristik rengi gözlenir. Eğer ortamda yükseltgen türün aşırısı varsa, bu kez indikatörün yükseltgenmiş halinin rengi gözlenir. Eşdeğerlik noktasında ya da yakınında indikatör bir halden diğerine geçerken, rengi keskin bir şekilde değişir. Böylece, indikatör yardımı ile eşdeğerlik noktası kolaylıkla belirlenebilir.

Potasyum permanganat($KMnO_4$) ve potasyum dikromat($K_2Cr_2O_7$), en yaygın kullanılan yükseltgen maddelerdir. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi, permanganat ve dikromat anyonlarının renkleri indirgenmiş hallerinden belirgin bir biçimde farklıdır.



Dolayısıyla, yükseltgenmiş ve indirgenmiş halleri farklı renklerde olan bu tür yükseltgenler, redoks titrasyonlarında kendileri de indikatör olarak davranırlar, yani *iç indikatör* olarak kullanılabilirler.

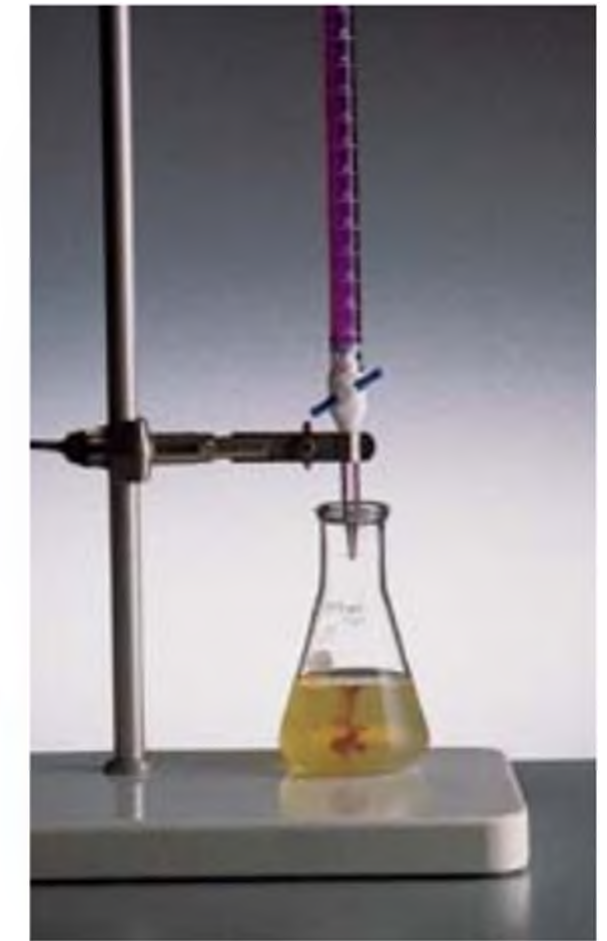
Redoks titrasyonlarında da, asit-baz nötralizasyonlarına benzer biçimde mol yöntemine dayalı olarak hesaplama yapılır. Aralarındaki fark, redoks tepkimelerinin eşitliklerinin ve stokiometrilere daha karmaşık olmasıdır. Aşağıdaki Örnek, redoks titrasyonlarına ait bir hesaplamayı göstermektedir.

Örnek 4.13

Asidik ortamda 25,00 ml $FeSO_4$ çözeltisinin yükseltgenmesi için 16,42 mL 0,1327 M $KMnO_4$ çözeltisi gerekmektedir. $FeSO_4$ çözeltisinin derişimi kaç molaardır? Net iyonik eşitlik:



(Devamı)



$KMnO_4$ çözeltisinin bir büretten $FeSO_4$ çözeltisine eklenmesi.

Redoks indikatörlerinin sayısı asit-baz indikatörleri kadar fazla değildir.

Denizden Metal Eldesi

Magnezyum çok değerli bir hafif metaldir. Yapı malzemesi olarak kullanılmamın yanı sıra alaşımlar, piller, ve kimyasal sentezlerde kullanılır. Magnezyum yerkabuğunda bol olmasına rağmen, deniz suyundan eldesi daha ucuzdur. Magnezyum denizde en çok bulunan ikinci (sodyumdan sonra) iyondur. Bir kilogram deniz suyunda yaklaşık 1,3 g magnezyum bulunur. Deniz suyundan magnezyum elde etmek için, bu bölümde tartıştığımız üç tip tepkime kullanılır: çöktürme, asit-baz ve redoks tepkimeleri.

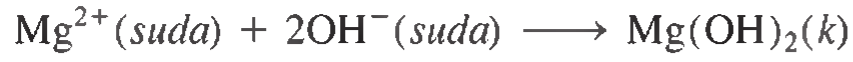
Magnezyum eldesinin ilk aşamasında, sönmemiş kireç (kalsiyum oksit, CaO) elde etmek üzere kireç taşı (CaCO₃) yüksek sıcaklıklarda ısıtılır:



Kalsiyum oksit deniz suyu ile etkileştirildiğinde, az çözünen kalsiyum hidroksit [Ca(OH)₂] oluşur ve buda Ca²⁺ ve OH⁻ iyonlarına ayrışır:



Fazla hidroksit iyonları, çözünürlüğü çok daha az olan magnezyum hidroksitin çökmesine neden olur:



Katı magnezyum hidroksit süzülür ve magnezyum klorür (MgCl₂) oluşturmak üzere hidroklorik asit ile tepkimeye sokulur:

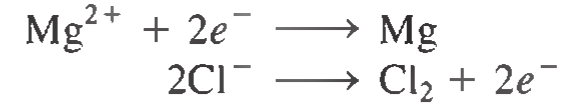


Su buharlaştırıldıktan sonra, katı magnezyum klorür çelik hücrelerde eritilir. Erimiş magnezyum klorür, hem Mg²⁺ hem de Cl⁻



Teksas, Freeport'ta faaliyet gösteren Dow Kimyasal Şirketinin çöktürme havuzlarında, deniz suyundan magnezyum hidroksitin çöktürülmesi.

iyonlarını içerir. Elektroliz adı verilen bir işlem ile hücreden elektrik akımı geçirilerek, Mg²⁺ iyonları indirgenirken Cl⁻ iyonları yükseltgenir. Yarı tepkimeler ve toplam tepkime aşağıdaki gibidir:



Toplam tepkime:



Böylece magnezyum metali üretilmiş olur. Üretilen klor gazı hidroklorik aside dönüştürülür ve bu işlem ile geri kazanılır.

İzlenecek Yol FeSO₄ çözeltisinin derişimini hesaplamak istiyoruz. Molaritenin tanımından,

$$\text{FeSO}_4 \text{ molaritesi} = \frac{\text{mol FeSO}_4}{\text{L çözl.}}$$

↑
hesaplanmak istenen
↑
bulunmak istenen
↑
verilen

(Devamı)

Soruda FeSO_4 çözeltisinin hacmi verilmiştir. Molariteyi bulabilmek için FeSO_4 'ın mol sayısını bulmalıyız. Fe^{2+} ile MnO_4^- arasındaki stokiyometrik bağıntı (net iyonik eşitlikten yararlanınız) nedir? 16,42 mL 0,1327 M KMnO_4 çözeltisi kaç mol KMnO_4 içerir?

Çözüm 16,42 mL çözeltideki KMnO_4 'ın mol sayısı:

$$\begin{aligned}\text{mol KMnO}_4 &= \frac{0,1327 \text{ mol KMnO}_4}{1000 \text{ mL-çözl.}} \times 16,42 \text{ mL} \\ &= 2,179 \times 10^{-3} \text{ mol KMnO}_4\end{aligned}$$

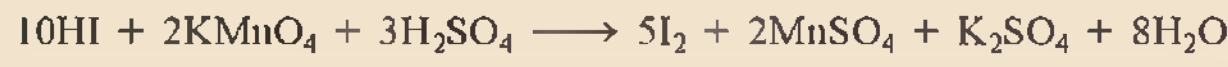
Net iyonik eşitlikten 5 mol $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons 1 \text{ mol MnO}_4^-$ olduğunu anlıyoruz. Dolayısı ile yükseltgenen FeSO_4 mol sayısı:

$$\begin{aligned}\text{FeSO}_4 \text{ molaritesi} &= 2,179 \times 10^{-3} \text{ mol KMnO}_4 \times \frac{5 \text{ mol FeSO}_4}{1 \text{ mol KMnO}_4} \\ &= 1,090 \times 10^{-2} \text{ mol FeSO}_4\end{aligned}$$

FeSO_4 çözeltisinin litredeki mol sayısı olarak derişimi:

$$\begin{aligned}\text{FeSO}_4 \text{ molaritesi} &= \frac{\text{mol FeSO}_4}{\text{L çözl.}} \\ &= \frac{1,090 \times 10^{-2} \text{ mol FeSO}_4}{25,00 \text{ mL-çözl.}} \times \frac{1000 \text{ mL-çözl.}}{1 \text{ L çözl.}} \\ &= 0,4360 \text{ M}\end{aligned}$$

Alıştırma 22,5 mL 0,374 M KMnO_4 çözeltisini indirgemek için 0,206 M HI çözeltisinden kaç mL gerekir?



Berzer problemler: 4.95, 4.96.

Sayfa 156'daki "Kimya İşbaşında" konusunda, bu bölümde tartışılan tepkime türlerini içeren endüstriyel bir süreç açıklanmaktadır.

Anahtar Eşitlikler

$$\text{molarite} = \frac{\text{çözünen mol sayısı}}{\text{çözelti litresi}} \quad (4.1)$$

$$M = \frac{n}{V} \quad (4.2)$$

$$M_1V_1 = M_2V_2 \quad (4.3)$$

Molarite hesaplaması

Molarite hesaplaması

Çözelti seyreltilmesi

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Eğer çözünen türler elektrolit ise, sulu çözeltiler elektriği iletir. Çözünen türler elektrolit değilse, çözeltileri elektriği iletmezler.
2. Sulu ortamda gerçekleşen tepkimeler: çökme tepkimeleri, asit-baz tepkimeleri ve yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri olmak üzere üç ana gruba ayrılır.
3. İyonik bileşiklerin genel çözünürlük kurallarından, bir tepkimede çökeğin oluşup oluşmayacağını tahmin edebiliriz.
4. Arrhenius asitleri suda H^+ iyonları, Arrhenius bazları ise suda OH^- iyonları vererek iyonlaşır. Brønsted asitleri proton verirken, Brønsted bazları proton alırlar.

5. Bir asit ile bazın tepkimesi nötralleşme olarak adlandırılır.
6. Redoks tepkimelerinde, yükseltgenme ve indirgenme daima eş zamanlı olarak gerçekleşir. Yükseltgenme elektron kaybetme, indirgenme ise elektron kazanma işlemidir.
7. Yükseltgenme basamağı yük dağılımını takip etmemizi sağlar. Yükseltgenme basamağı, bileşik ya da iyondaki tüm atomlar için özel kurallar uygulanarak belirlenir. Yükseltgenme işlemi, yükseltgenme basamağındaki artış, indirgenme ise yükseltgenme basamağındaki azalma olarak tanımlanır.
8. Redoks tepkimelerinin çoğu, birleşme, bozunma, yanma, yer değiştirme veya yarıma tepkimeleri olarak alt sınıflara ayrılabilir.
9. Çözelti derişimi, belirli miktardaki çözelti içerisinde çözünen madde miktarıdır. Molarite, 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısıdır.
10. Seyrelme, çözeltiye çözücü ilavesiyle sağlanır ve çözeltideki çözünen maddenin toplam mol sayısını değiştirmeden çözelti derişiminin (molaritesinin) azalmasına neden olur.
11. Gravimetrik analiz, kütle ölçümü yoluyla bir bileşiğin ne oluşunu ve/veya bir çözeltinin derişimini belirleme tekniğidir. Gravimetrik tayinler genellikle çökme tepkimelerini içerirler.
12. Asit-baz titrasyonlarında, derişimi bilinmeyen ve belirlenecek olan bir çözelti(asit olsun) tizerine derişimi kesin olarak bilinen bir çözelti (baz olsun) kontrollü olarak ilave edilir ve bilinmeyen derişim bulunur. Titrasyonda indikatör renginin değişmesi ile gözlenen tepkimenin tamamlandığı nokta, eşdeğerlik noktası olarak adlandırılır.
13. Redoks titrasyonları asit-baz titrasyonlarına benzer. İndirgenme-yükseltgenme tepkimelerinin tamamlanacağı noktaya eş değerlik noktası denir.

Anahtar Kelimeler

Birleşme tepkimesi s. 137	Gözlemci iyon s. 124	Net iyonik eşitlik s.	Yarıma tepkimesi s. 142
Bozunma tepkimesi s. 139	Gravimetrik analiz. s. 149	Nicel analiz s. 149	Yer değiştirme tepkimesi s. 139
Bronsted asiti s. 127	Hidratlaşma s. 120	Nötralleşme tepkimesi s. 130	Yükseltgen s. 134
Bronsted bazı s. 127	Hidronyum iyonu s. 128	Redoks tepkimesi s. 132	Yükseltgenme –indirgenme tepkimesi s. 132
Çökelek s. 1221	İki protonlu asit s. 128	Seyrelme s. 147	Yükseltgenme basamağı s. 135
Çökme tepkimesi s. 121	İndikatör s. 152	Standart çözelti s. 151	Yükseltgenme sayısı s. 135
Çözelti derişimi s. 145	İndirgen s. 134	Sulu çözelti s. 119	Yükseltgenme tepkimesi s. 133
Çözücü s. 119	İndirgenme tepkimesi s. 133	Tek protonlu asit s. 128	
Çözünen s. 119	İyonik eşitlik s. 124	Tersinir tepkime s. 121	
Çözünürlük s. 122	İyonik eşitlik. s. 124	Titrasyon s. 151	
Elektrolit olmayan s. 119	Metatez tepkimesi s. 121	Tuz s. 130	
Elektrolit s. 119	Molar derişim s. 145	Üç protonlu asit s. 128	
Eşdeğerlik noktası. s. 152	Molarite (M) s. 145	Yanma tepkimesi s. 139	
Etkinlik serisi, s. 140	Moleküler eşitlik s. 123	Yarı-tepkime. s. 133	

Sorular ve Problemler

Sulu Çözeltilerin Özellikleri

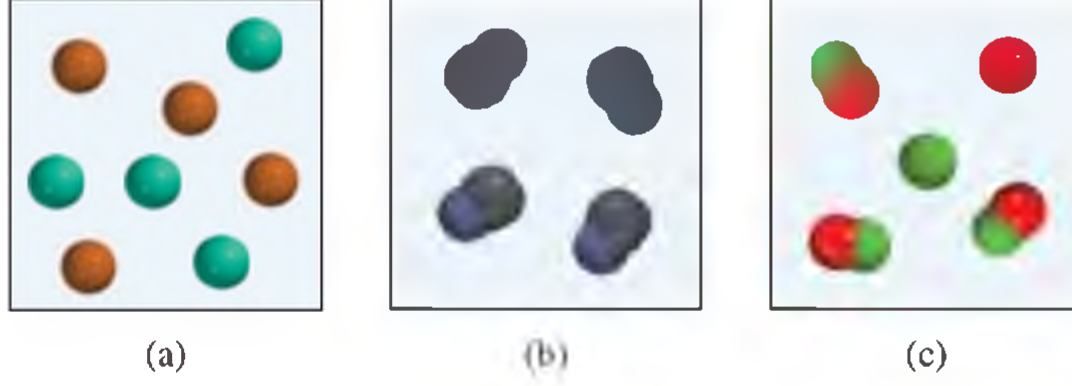
Tarama Soruları

- 4.1 Bir katının sıvı içerisinde çözünmesi işlemini göz önüne alarak, çözünen, çözücü ve çözelti kavramlarını tanımlayınız.
- 4.2 Elektrolit ve elektrolit olmayan arasındaki fark nedir? Kuvvetli ve zayıf elektrolit arasındaki fark nedir?
- 4.3 Hidratlaşmayı tanımlayınız. Suyun hangi özelliği, moleküllerinin iyonlar ile etkileşime girebilmesine neden olur?
- 4.4 Kimyasal eşitlikte kullanılan \longrightarrow ve \rightleftharpoons simgeleri arasındaki fark nedir?
- 4.5 Su son derece zayıf bir elektrolittir ve bundan dolayı elektriği iletmez. Neden ellerimiz ıslak iken elektrikli cihazları çalıştırmamamız önerilir?

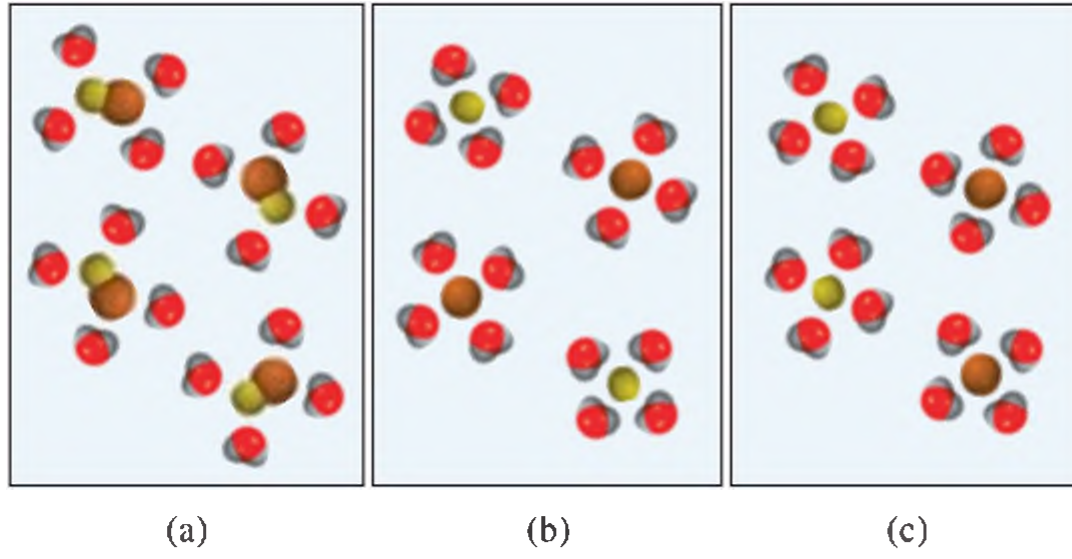
- 4.6 Sodyum sülfat (Na_2SO_4) kuvvetli bir elektrolittir. Na_2SO_4 (suda) içinde hangi türler vardır?

Problemler

- 4.7 Sulu çözeltideki üç bileşik aşağıdaki çizimle gösterilmiştir. Her bir bileşiği elektrolit olmayan, zayıf elektrolit ve kuvvetli elektrolit olarak tanımlayınız.



- 4.8 Aşağıdaki şekillerden hangisi suda çözünen NaCl 'ün hidratlaşmasını en iyi gösterir? Cl^- iyonu Na^+ iyonuna göre daha büyüktür.



- 4.9 Aşağıdaki bileşiklerin her birini kuvvetli elektrolit, zayıf elektrolit ya da elektrolit olmayan şeklinde tanımlayınız. (a) H_2O , (b) KCl , (c) HNO_3 , (d) CH_3COOH , (e) $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.
- 4.10 Aşağıdaki bileşiklerin her birini kuvvetli elektrolit, zayıf elektrolit ya da elektrolit olmayan şeklinde tanımlayınız. (a) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, (b) Ne , (c) NH_3 , (d) NaOH .
- 4.11 Bir elektrolit çözeltisinin elektriği iletmesi aşağıdakilerden hangisi ile olur? (a) yalnızca elektronların hareketiyle, (b) yalnızca katyonların hareketiyle, (c) yalnızca anyonların hareketiyle, (d) anyon ve katyonların hareketiyle.
- 4.12 Aşağıda verilenlerden hangilerinin elektriği iletmesini belirtiniz ve açıklayınız. (a) katı NaCl , (b) erimiş NaCl , (c) NaCl 'ün sulu çözeltisi.
- 4.13 Size suda çözünebilir bir X bileşiği veriliyor. Elektrolit olup olmadığını nasıl belirlersiniz?

Elektrolit ise, kuvvetli ya da zayıf elektrolit olduğunu nasıl anlarsınız?

- 4.14 HCl 'in benzendeki çözeltisi elektriği iletmezken suda çözeltisinin iletmesini nasıl açıklarsınız?

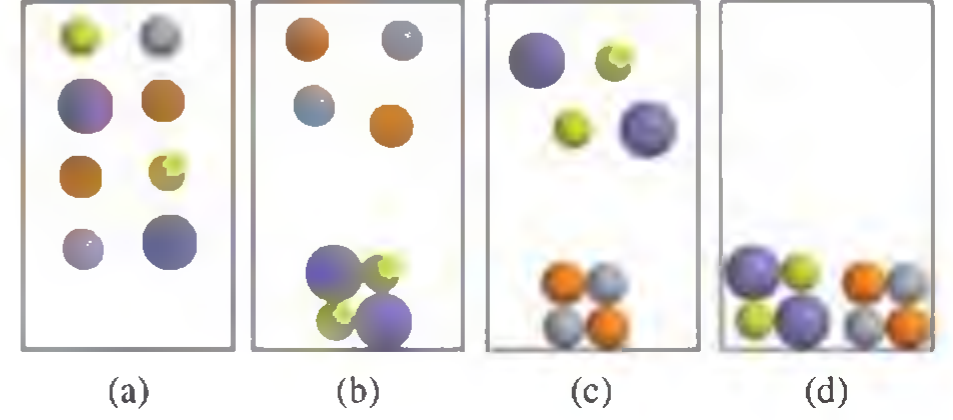
Çökme Tepkimeleri

Tarama Soruları

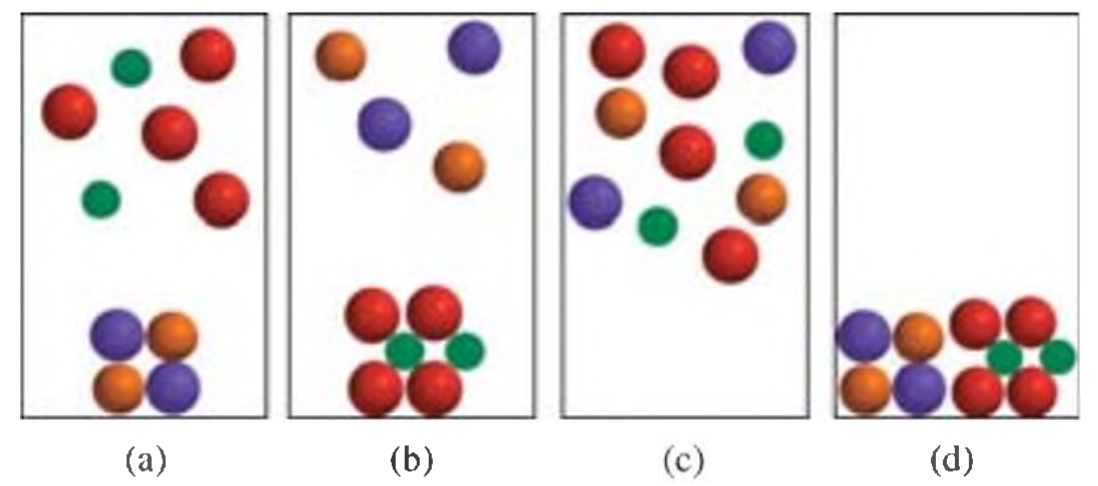
- 4.15 İyonik eşitlik ile moleküler eşitlik arasındaki fark nedir?
- 4.16 Net iyonik eşitliği yazmanın üstünlüğü nedir?

Problemler

- 4.17 AgNO_3 ve NaCl 'ün sulu çözeltileri karıştırılmıştır. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi bu karışımı en iyi temsil eder? Basitlik için su molekülleri gösterilmemiştir. (Renk kodları: Ag^+ = gri, Cl^- = turuncu, Na^+ = yeşil, NO_3^- = mavi.)



- 4.18 KOH ve MgCl_2 'ün sulu çözeltileri karıştırılmıştır. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi bu karışımı en iyi temsil eder? Basitlik için su molekülleri gösterilmemiştir. (Renk kodları: K^+ = mor, OH^- = kırmızı, Mg^{2+} = yeşil, Cl^- = turuncu.)



- 4.19 Aşağıdaki bileşikler 'suda çözünür' ya da 'az çözünür' olarak sınıflandırınız. (a) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, (b) $\text{Mn}(\text{OH})_2$, (c) AgClO_3 , (d) K_2S .
- 4.20 Aşağıdaki bileşikler 'suda çözünür' ya da 'az çözünür' olarak sınıflandırınız. (a) CaCO_3 , (b) ZnSO_4 , (c) $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, (d) HgSO_4 , (e) NH_4ClO_4 .

- 4.21 Aşağıdaki tepkimeler için iyonik ve net iyonik eşitlikleri yazınız.
- (a) $\text{AgNO}_3(\text{suda}) + \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{suda}) \longrightarrow$
- (b) $\text{BaCl}_2(\text{suda}) + \text{ZnSO}_4(\text{suda}) \longrightarrow$
- (c) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{suda}) + \text{CaCl}_2(\text{suda}) \longrightarrow$
- 4.22 Aşağıdaki tepkimeler için iyonik ve net iyonik eşitlikleri yazınız.
- (a) $\text{Na}_2\text{S}(\text{suda}) + \text{ZnCl}_2(\text{suda}) \longrightarrow$
- (b) $\text{K}_3\text{PO}_4(\text{suda}) + 3\text{Sr}(\text{NO}_3)_2(\text{suda}) \longrightarrow$
- (c) $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2(\text{suda}) + 2\text{NaOH}(\text{suda}) \longrightarrow$
- 4.23 Aşağıdaki işlemde hangisi çökme ile sonuçlanır? (a) NaNO_3 ve CuSO_4 çözeltilerini karıştırılması, (b) BaCl_2 ve K_2SO_4 çözeltilerini karıştırılması. Çökme tepkimesi için net iyonik eşitlik yazınız.
- 4.24 Çizelge 4.2'den yararlanarak, aşağıda verilen karışımları birbirinden ayırmak için bir yöntem öneriniz? (a) Ag^+ dan K^+ , (b) Pb^{2+} dan Ba^{2+} , (c) Ca^{2+} dan NH_4^+ , (d) Cu^{2+} dan Ba^{2+} . Katyonları sulu çözeltide düşündünüz ve ortak iyonun nitrat iyonu olduğunu kabul ediniz.

Asit-Baz Tepkimeleri

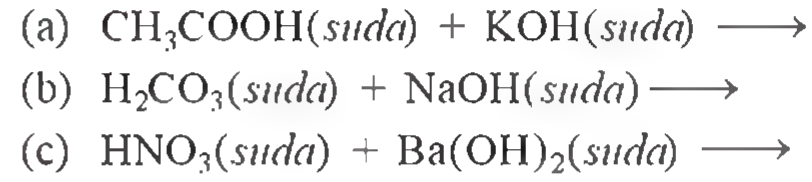
Tarama Soruları

- 4.25 Asit ve bazların genel özelliklerini sıralayınız.
- 4.26 Arrhenius ve Brønsted asit-baz tanımlarını belirtiniz. Neden. Brønsted asit-baz tanımı, asit ve bazların özelliklerini açıklamak için daha kullanışlıdır?
- 4.27 Tek protonlu, iki protonlu, üç protonlu asitlere birer örnek veriniz.
- 4.28 Asit-baz nötralleşme tepkimelerinin özellikleri nelerdir?
- 4.29 Bir bileşiğin tuz olarak tanımlanmasında hangi etkenler kullanılır? Verilen şu bileşiklerinden hangisinin tuz olduğunu belirtiniz: CH_4 , NaF , NaOH , CaO , BaSO_4 , HNO_3 , NH_3 , KBr ?
- 4.30 Verilen şu bileşiklerinden hangisi zayıf asit yada baz, veya kuvvetli asit yada bazdır?: (a) NH_3 , (b) H_3PO_4 , (c) LiOH , (d) HCOOH (formic acid), (e) H_2SO_4 , (f) HF , (g) $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

Problemler

- 4.31 Aşağıdaki türleri Brønsted asiti. Brønsted bazı veya hem Brønsted asiti hem de Brønsted bazı şeklinde tanımlayınız: (a) HI , (b) CH_3COO^- , (c) H_2PO_4^- , (d) HSO_4^- .
- 4.32 Aşağıdaki türleri Brønsted asiti. Brønsted bazı veya hem Brønsted asiti hem de Brønsted bazı şeklinde tanımlayınız: (a) PO_4^{3-} , (b) ClO_2^- , (c) NH_4^+ , (d) HCO_3^- .
- 4.33 Aşağıdaki eşitlikleri denkleştiriniz. uygun olanların iyonik ve net iyonik eşitliklerini yazınız:
- (a) $\text{HBr}(\text{suda}) + \text{NH}_3(\text{suda}) \longrightarrow$
- (b) $\text{Ba}(\text{OH})_2(\text{suda}) + \text{H}_3\text{PO}_4(\text{suda}) \longrightarrow$
- (c) $\text{HClO}_4(\text{suda}) + \text{Mg}(\text{OH})_2(\text{k}) \longrightarrow$

- 4.34 Aşağıdaki eşitlikleri denkleştiriniz uygun olanların iyonik ve net iyonik eşitliklerini yazınız:



Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri

Tarama Soruları

- 4.35 Birleşme redoks tepkimesi, bozunma redoks tepkimesi ve yer değiştirme redoks tepkimesine birer örnek veriniz.
- 4.36 Bütün yanma tepkimeleri redoks tepkimesidir. Doğru mu, yanlış mı? Açıklayınız.
- 4.37 Yükseltgenme basamağı nedir? Redoks tepkimelerinin tanımlanmasında nasıl kullanılır? İyonik bileşikler hariç, yükseltgenme basamağının neden fiziksel bir önemi olmadığını açıklayınız.
- 4.38 (a) Şekil 4.11'e bakmadan, alkali ve toprak alkali metallerin bileşiklerindeki yükseltgenme basamağını belirtiniz. (b) Grup 3A-7A elementlerinin sahip olabileceği en yüksek yükseltgenme basamağını belirtiniz.
- 4.39 Etkinlik(aktiflik) serisi nasıl düzenlenmiştir? Redoks tepkimelerinde nasıl kullanılır?
- 4.40 Redoks tepkimesi, yarı tepkime, yükseltgen ve indirgen tanımlamalarını, aşağıdaki tepkimeyi kullanarak yapınız.
- $$4\text{Na}(\text{k}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{Na}_2\text{O}(\text{k})$$
- 4.41 Yükseltgenmenin olduğu ancak indirgenmenin olmadığı bir tepkime olabilir mi? Açıklayınız.
- 4.42 Bir elementin yarılanma tepkimesi verebilmesi için şartlar nedir? Bu tip tepkimelerde yer alabilecek beş element söyleyiniz.

Problemler

- 4.43 Aşağıda verilen redoks tepkimeleri için (i) her tepkimeyi yarı tepkimelerine bölünüz; (ii) yükseltgen türü belirleyiniz; (iii) indirgen türü belirleyiniz.
- (a) $2\text{Sr} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{SrO}$
- (b) $2\text{Li} + \text{H}_2 \longrightarrow 2\text{LiH}$
- (c) $2\text{Cs} + \text{Br}_2 \longrightarrow 2\text{CsBr}$
- (d) $3\text{Mg} + \text{N}_2 \longrightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$
- 4.44 Aşağıdaki her bir redoks tepkimesi için yarı-tepkimeyi yazınız? Yükseltgen türü ve indirgen türü belirleyiniz.
- (a) $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$
- (b) $\text{Cl}_2 + 2\text{NaBr} \longrightarrow 2\text{NaCl} + \text{Br}_2$
- (c) $\text{Si} + 2\text{F}_2 \longrightarrow \text{SiF}_4$
- (d) $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{HCl}$

- 4.45 Aşağıdaki türleri kükürt atomunun artan yükseltgenme basamağına göre sıralayınız: (a) H_2S , (b) S_8 , (c) H_2SO_4 , (d) S^{2-} , (e) HS^- , (f) SO_2 , (g) SO_3 .
- 4.46 Fosfor pek çok oksis-asit oluşturur. Aşağıda verilen oksis-asitlerdeki fosforların yükseltgenme basamaklarını belirtiniz: (a) HPO_3 , (b) H_3PO_2 , (c) H_3PO_3 , (d) H_3PO_4 , (e) $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, (f) $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$.
- 4.47 Aşağıda verilen molekül ve iyonlardaki altı çizili atomların yükseltgenme basamaklarını bulunuz: (a) ClF , (b) IF_7 , (c) CH_4 , (d) C_2H_2 , (e) C_2H_4 , (f) K_2CrO_4 , (g) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (h) KMnO_4 , (i) NaHCO_3 , (j) Li_2 , (k) NaIO_3 , (l) KO_2 , (m) PF_6^- , (n) KAuCl_4 .
- 4.48 Aşağıdaki türlerin yükseltgenme basamaklarını bulunuz: H_2 , Se_8 , P_4 , O , U , As_4 , B_{12} .
- 4.49 Aşağıda verilen molekül ve iyonlardaki altı çizili atomların yükseltgenme basamaklarını bulunuz: (a) Cs_2O , (b) CaI_2 , (c) Al_2O_3 , (d) H_3AsO_3 , (e) TiO_2 , (f) MoO_4^{2-} , (g) PtCl_4^{2-} , (h) PtCl_6^{2-} , (i) SnF_2 , (j) ClF_3 , (k) SbF_6^- .
- 4.50 Aşağıda verilen molekül ve iyonlardaki altı çizili atomların yükseltgenme basamaklarını bulunuz: (a) Mg_3N_2 , (b) CsO_2 , (c) CaC_2 , (d) CO_3^{2-} , (e) $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, (f) ZnO_2^{2-} , (g) NaBH_4 , (h) WO_4^{2-} .
- 4.51 Nitrik asit kuvvetli bir yükseltgendir. Aşağıdaki türlerden hangisi. Zn metali gibi kuvvetli bir indirgenle nitrik asit tepkimeye girdiğinde oluşma ihtimali *en az* olan maddedir? Nedenini açıklayınız. N_2O , NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 , NH_4^+ .
- 4.52 Aşağıdaki metallere hangisi su ile tepkimeye girer? (a) Au , (b) Li , (c) Hg , (d) Ca , (e) Pt .
- 4.53 Yükseltgenme sayısı kavramına göre, aşağıdaki oksitlerden biri moleküler oksijen ile tepkime vermez. NO , N_2O , SO_2 , SO_3 , P_4O_6 . Hangisi? Neden?
- 4.54 Etkinlik serisini kullanarak aşağıdaki eşitliklerde gösterilen tepkimelerin sonuçlarını tahmin edip, eşitlikleri denkleştiriniz.
 (a) $\text{Cu}(k) + \text{HCl}(suda) \longrightarrow$
 (b) $\text{I}_2(k) + \text{NaBr}(suda) \longrightarrow$
 (c) $\text{Mg}(k) + \text{CuSO}_4(suda) \longrightarrow$
 (d) $\text{Cl}_2(g) + \text{KBr}(suda) \longrightarrow$
- 4.55 Aşağıdaki redoks tepkimelerini sınıflandırınız:
 (a) $2\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
 (b) $\text{Mg} + 2\text{AgNO}_3 \longrightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$
 (c) $\text{NH}_4\text{NO}_2 \longrightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
 (d) $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow 2\text{HBr}$
- 4.56 Aşağıdaki redoks tepkimelerini sınıflandırınız:
 (a) $\text{P}_4 + 10\text{Cl}_2 \longrightarrow 4\text{PCl}_5$
 (b) $2\text{NO} \longrightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$
 (c) $\text{Cl}_2 + 2\text{KI} \longrightarrow 2\text{KCl} + \text{I}_2$
 (d) $3\text{HNO}_2 \longrightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$

- 4.57 Aşağıdakilerden hangileri redoks işlemidir?

- (a) $\text{CO}_2 \longrightarrow \text{CO}_3^{2-}$
 (b) $\text{VO}_3 \longrightarrow \text{VO}_2$
 (c) $\text{SO}_3 \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}$
 (d) $\text{NO}_2 \longrightarrow \text{NO}_3$
 (e) $\text{Cr}^{3+} \longrightarrow \text{CrO}_4^{2-}$

- 4.58 Hangisi en kuvvetli yükseltgen olabilir? O_2 , O_2^- , O_2^+ , O_2^{2-} .

Çözümleri

Tarama Soruları

- 4.59 Molariteyi hesaplamak için bir eşitlik yazınız. Neden molarite kimyada kullanışlı bir derişim birimidir?
- 4.60 Ölçülü balon kullanarak bilinen molar derişimde bir çözelti hazırlanması sırasındaki basamakları anlatınız.

Problemler

- 4.61 $5.00 \times 10^2 \text{ mL}$, 2.80 M KI çözeltisi hazırlamak için gereken KI miktarını (gram) hesaplayınız.
- 4.62 250 mL , 0.707 M NaNO_3 çözeltisini nasıl hazırlarsınız?
- 4.63 60.0 mL , 0.100 M MgCl_2 çözeltisinde kaç mol MgCl_2 vardır?
- 4.64 35.0 mL , 5.50 M KOH çözeltisinde kaç gram KOH vardır?
- 4.65 Aşağıdaki çözeltilerin molaritelerini hesaplayınız: (a) 545 mL çözeltide 29.0 g etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (b) 74.0 mL çözeltide, 15.4 g sukroz ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), (c) 86.4 mL çözeltide 9.00 g sodyum klorür (NaCl).
- 4.66 Aşağıdaki çözeltilerin molaritelerini hesaplayınız. (a) $1.50 \times 10^2 \text{ mL}$ çözeltide 6.57 g metanol (CH_3OH), (b) $2.20 \times 10^2 \text{ mL}$ çözeltide 10.4 g kalsiyum klorür (CaCl_2), (c) 85.2 mL benzende 7.82 g naftalin (C_{10}H_8).
- 4.67 Aşağıdaki çözeltilerin hacimlerini mL olarak hesaplayınız: (a) 2.14 g sodyum klorür içeren 0.270 M çözelti, (b) 4.30 g etanol içeren 1.50 M çözelti, (c) 0.85 g asetik asit (CH_3COOH) içeren 0.30 M çözelti.
- 4.68 Aşağıdaki çözünenlerden $2.50 \times 10^2 \text{ mL}$, 0.100 M çözelti hazırlamak için kaç gram gerektiğini bulunuz: (a) sezyum iyodür (CsI), (b) sülfürik asit (H_2SO_4), (c) sodyum karbonat (Na_2CO_3), (d) potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), (e) potasyum permanganat (KMnO_4).
- 4.69 0.278 M NO_3^- iyonu içeren çözelti hazırlamak için, 255 mL , 0.102 M KNO_3 çözeltisine eklenmesi gereken $0.416 \text{ M Mg}(\text{NO}_3)_2$ 'ın hacmi nedir? Hacimlerin toplanabilir olduğunu kabul ediniz.

- 4.70** Organik asitlerin titrasyonunda sıklıkla kullanılan baryum hidroksit, oktahidrat şeklinde $[\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ temin edilir. Bu bileşikten 0,1500 M hidroksit iyonu içeren 500,0 mL çözelti hazırlamak için gerekli $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ kütlesi nedir?

Çözeltilerin Seyreltilmesi

Tarama Soruları

- 4.71 Bilinen derişimdeki bir çözeltinin seyreltilmesi işlemindeki temel basamakları anlatınız.
- 4.72 Derişik bir çözeltiden seyreltik bir çözelti hazırlamamızı sağlayan eşitliği yazınız. Tüm terimlerin birimlerini veriniz.

Problemler

- 4.73 2,00 M HCl çözeltisinden başlayarak, 1,00 L 0,646 M HCl çözeltisini nasıl hazırlanacağını anlatınız.
- 4.74** 25,0 mL 0,866 M KNO_3 çözeltisine hacmi 500 mL oluncaya kadar su ilave ediliyor. Son çözeltinin derişimi nedir?
- 4.75 4,00 M HNO_3 stok çözeltisinden 60,0 mL 0,200 M HNO_3 çözeltisini nasıl hazırlarsınız?
- 4.76** Elinizde 505 mL 0,125 M HCl çözeltisi vardır. Bu çözeltiyi 0,100 M'a seyreltmek istiyorsunuz. Ne kadar su eklemelisiniz? Hacimlerin toplanabilir olduğunu kabul ediniz.
- 4.77 35,2 mL 1,66 M KMnO_4 çözeltisi ile 16,7 mL 0,892 M KMnO_4 çözeltisi karıştırılıyor. Son çözelti derişimini hesaplayınız.
- 4.78** 46,2 mL 0,568 M kalsiyum nitrat $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ çözeltisi ile 80,5 mL 1,396 M kalsiyum nitrat çözeltisi karıştırılıyor. Son çözelti derişimini hesaplayınız

Gravimetrik Analiz

Tarama Soruları

- 4.79 Gravimetrik analizdeki temel basamakları anlatınız. Bu yöntem, bir bileşiğin tanımlanması ya da bilinen yapıdaki bir bileşiğin saflığının bulunmasında bize nasıl yardımcı olur?
- 4.80 Klorürlerin gravimetrik analizinde saf su kullanılmalıdır. Neden?

Problemler

- 4.81 30,0 mL 0,150 M CaCl_2 çözeltisi, 15,0 mL 0,100 M AgNO_3 çözeltisine ilave edildiğinde, çöken AgCl 'ün gram cinsinden kütlesi ne olur?
- 4.82** Baryum iyonu (Ba^{2+}) içeren 0,6760 g bilinmeyen bir örnek suda çözülüyor ve üzerine aşırı miktarda Na_2SO_4 ilave ediliyor. Çöken BaSO_4 'ün kütlesi 0,4105 g olduğuna göre bilinmeyen örnekte kütlece Ba yüzdesi nedir?
- 4.83 $2,50 \times 10^2$ mL 0,0113 M AgNO_3 çözeltisindeki Ag^+ iyonlarını çöktürmek için kaç gram NaCl gerekli-

dir? Tepkimenin net iyonik eşitliğini yazınız.

- 4.84** Sudaki sülfat miktarı, sülfat iyonlarını çöktürmek üzere baryum sülfat çözeltisi eklenmesi ile bulunabilir. Bu tepkime için net iyonik eşitliği yazınız. 145 mL su örneği fazla miktarda BaCl_2 (suda) ile muamele edildiğinde 0,330 g BaSO_4 çökmüştür. Başlangıçtaki su numunesindeki sülfat iyonu derişimini bulunuz.

Asit-Baz Titrasyonları

Tarama Soruları

- 4.85 Asit-baz titrasyonundaki temel basamakları anlatınız. Uygulamada bu teknik neden çok önemlidir?
- 4.86 Bir asit-baz indikatörü nasıl çalışır?
- 4.87 Bir öğrenci, bürette bulunan ve derişimi bilinmeyen NaOH çözeltisi ile iki titrasyon yapmıştır. Birinci titrasyonda 0,2458 g KHP'ı (bak.s.152) tartmış ve bir erlene koymuştur. Asiti(KHP) çözmek için üzerine 200 mL su koymuştur. Diğer titrasyonda ise 0,2507 g KHP tartmış ve çözmek için üzerine 40 mL su ilave etmiştir. Deneysel hata olmadığını kabul ederek, NaOH çözeltisinin derişimi için öğrenci her iki deneyden aynı sonucu elde eder mi?
- 4.88 25,0 mL 0,10 M HNO_2 (bir zayıf asit) titrasyonu için gerekli olan 0,10 M NaOH hacmi ile 25,0 mL 0,10 M HCl (bir kuvvetli baz) titrasyonu için gerekli olan 0,10 M NaOH hacmi farklı olur mu?

Problemler

- 4.89 0,4218 g KHP'ın nötralleşmesi için 18,68 mL KOH çözeltisi kullanılmıştır. KOH çözeltisinin derişimi (molarite cinsinden) nedir?
- 4.90** 17,4 mL 0,312 M HCl çözeltisini nötralleştirmek için 25,0 mL NaOH çözeltisi gerekiyorsa, NaOH çözeltisinin derişimi (molarite cinsinden) nedir?
- 4.91 Aşağıdaki çözeltileri titre etmek için 1,420 M NaOH çözeltisinden kaç mL gerekir?
- (a) 25,0 mL 2,430 M HCl çözeltisi
- (b) 25,0 mL 4,500 M H_2SO_4 çözeltisi
- (c) 25,0 mL 1,500 M H_3PO_4 çözeltisi
- 4.92** Aşağıdaki çözeltileri titre etmek için 0,500 M HCl çözeltisinden kaç mL gerekir?
- (a) 10,0 mL 0,300 M NaOH çözeltisi
- (b) 10,0 mL 0,200 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$ çözeltisi

Redoks Titrasyonları

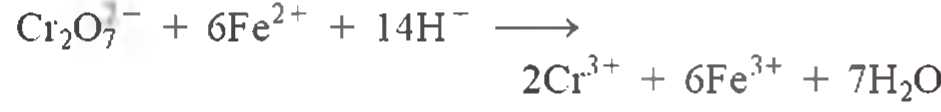
Tarama Soruları

- 4.93 Asit-baz titrasyonları ile redoks titrasyonları arasındaki benzerlik ve farklılıklar nelerdir?

- 4.94 Potasyum permanganat (KMnO_4) ile potasyum dikromatın ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) redoks titrasyonlarında iç indikatör olarak nasıl kullanıldığını açıklayınız.

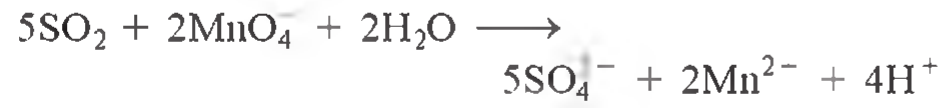
Problemler

- 4.95 Asidik $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ çözeltisi ile demir (II) aşağıda verilen net iyonik eşitliğe göre yükseltgenebilir:



25.0 mL Fe^{2+} içeren çözeltinin titrasyonu için 26.0 mL 0.0250 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ gerekiyorsa Fe^{2+} nin molar derişimini nedir?

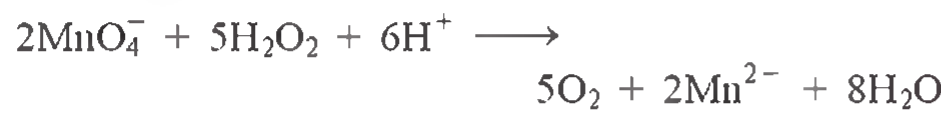
- 4.96 Havada bulunan SO_2 asit yağmuru olgusunun ana sorumlusudur. SO_2 'in derişimini aşağıdaki gibi standart permanganat çözeltisine karşı titrasyon ile bulunabilir:



Titrasyon için 7.57 mL 0.00800 M KMnO_4 çözeltisi gerektiğine göre örnekteki SO_2 miktarını gram cinsinden bulunuz.

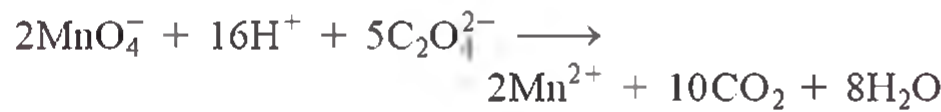
- 4.97 0.2792 g demir cevheri (sadece Fe^{2+} iyonları içeren) seyreltik asit çözeltisinde çözölmüş ve bütün Fe(II) iyonları titrasyonda yükseltgenerek Fe(III) iyonlarına dönüştürölmüştür. Bu çözöltinin titrasyonunda 23.30 mL 0.0194 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ kullanılmıştır. Cevherdeki kütlece demir yüzdesini hesaplayınız. (İpucu: Denkleştirilmiş eşitlik için bak. Problem 4.95.)

- 4.98 Aşağıda belirtilen eşitliğe göre hidrojen peroksit çözöltisinin derişimini standart potasyum permanganat çözöltisine karşı titrasyon ile kolaylıkla bulunabilir:



25.0 mL H_2O_2 çözöltimin yükseltgenmesi için 36.44 mL 0.01652 M KMnO_4 çözöltisi gerekiyor ise. H_2O_2 çözöltisinin molaritesi nedir?

- 4.99 Okzalik asit ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) pek çok bitki ve sebzelerde bulunur. 1.00 g $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ örneğinin eşdeğerlik noktasına kadar titrasyonu için 24.00 mL 0.0100 M KMnO_4 gerekiyorsa, bu örnekteki kütlece yüzde $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ miktarı nedir? Net iyonik eşitlik:



- 4.100 15 mL okzalik asit çözöltisinin nötralleşmesi için 25.2 mL 0.149 M NaOH gerekmektedir. Aynı okzalik asit çözöltisinin 15 mL'lik ikinci bir örneği ile tepkimeye girecek olan 0.122 M KMnO_4 çözöltisi-

nin hacmi nedir? (İpucu: Okzalik asit iki protonlu bir asittir. Redoks eşitliği için bak. Problem 4.99.)

- 4.101 İyodat iyonu [IO_3^-] asidik çözöltideki SO_3^{2-} iyonunu yükseltger. Yükseltgenme yarı tepkimesi şöyledir:

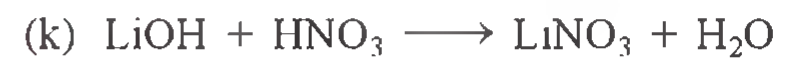
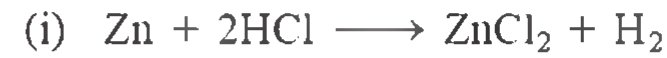
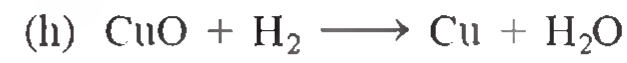
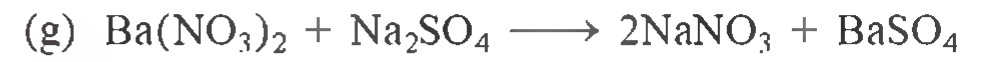
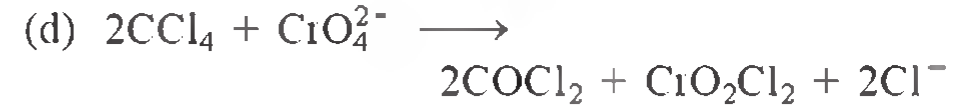
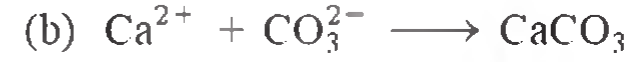


1.390 g KIO_3 içeren 100.0 mL çözölti örneği 32.5 mL 0.500M Na_2SO_3 ile tepkimeye giriyor. Tepkime gerçekleşikten sonra, iyotun türlerinin yükseltgenme basamağı nedir?

- 4.102 Suda az çözöünen kalsiyum okzalit (CaC_2O_4) böbrek taşlarının ana bileşenidir. Bu sebeple kan gibi sıvılardaki Ca^{2+} iyonlarının miktarlarının belirlenmesinde kullanılabilir. Problem 4.99'da tepkimesi gösterildiği gibi, kandan izole edilen kalsiyum okzalit asitte çözöltür ve KMnO_4 'a karşı titre edilir. Bir deneyde 10.0 mL kan örneğinden izole edilen kalsiyum oksalatın titrasyonu için 24.2 mL 9.56×10^{-4} M KMnO_4 harcannmıştır. Mililitre kandaki miligram kalsiyum miktarını hesaplayınız.

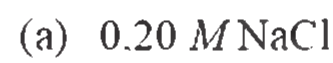
Ek Problemler

- 4.103 Aşağıdaki tepkimeleri, bu bölümde incelenen tepkime türlerine göre sınıflandırınız.



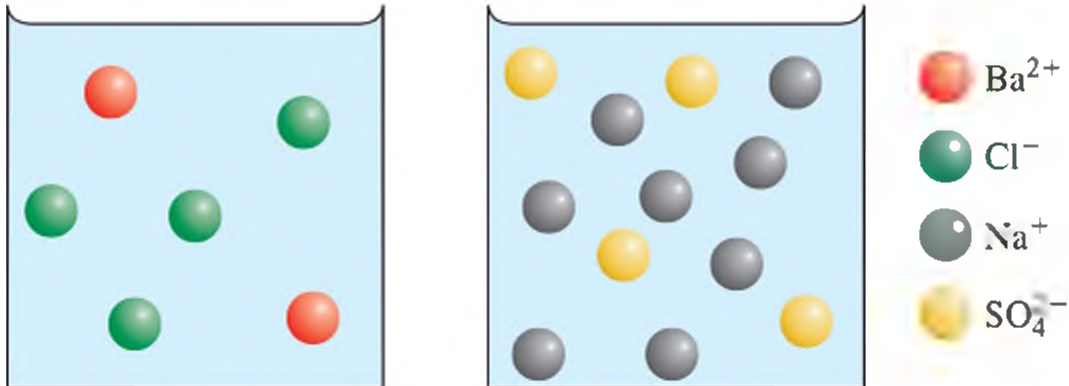
- 4.104 Oksijen (O_2) ve karbondioksit (CO_2) renksiz ve kokusuz gazlardır. Bu iki gazı birbirinden ayırt etmemizi sağlayacak iki kimyasal test öneriniz.

- 4.105 Aşağıdaki çözöltülerden hangisinin 25°C 'de elektrliği en iyi ileten olmasını beklersiniz. Cevabınızı açıklayınız.

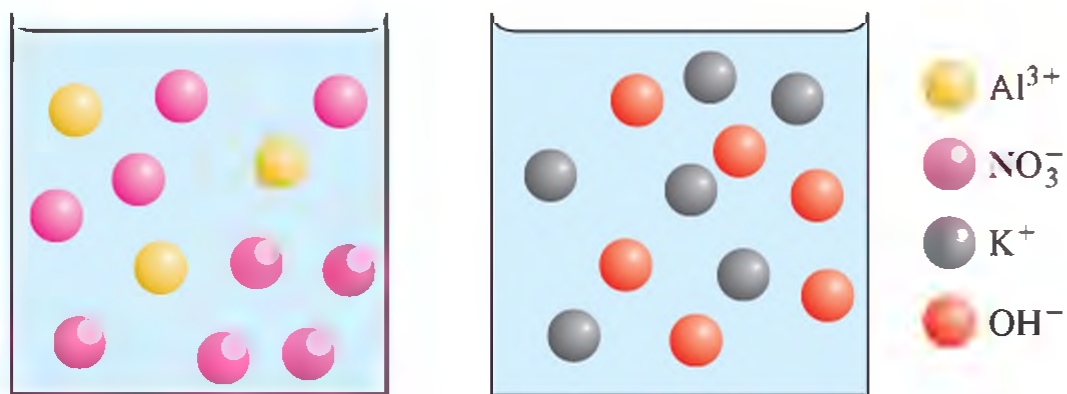


- 4.106 4.47 g magnezyum 5.00×10^{-2} mL 2.00 M HCl çözöltisi ile muamele ediliyor. Bütün metal tepkimeye girdikten sonra asit çözöltisinin derişimini hesaplayınız. Hacmin değişmediğini kabul ediniz.

- 4.107 Aşağıda çeşitli iyonları içeren iki çözelti gösterilmiştir. Çözeltilerin her birinin hacmi 200 mL'dir. (a) Çözeltiler karıştırıldıktan sonra oluşacak çökeleğin kütlesi (g olarak) nedir? (b) Son çözeltideki iyonların derişimleri nelerdir? Her küreyi 0,100 mol olarak değerlendiriniz. Hacimlerin toplanabilir olduğunu kabul ediniz.



- 4.108 Aşağıda çeşitli iyonları içeren iki çözelti gösterilmiştir. Çözeltilerin her birinin hacmi 200 mL'dir. (a) Çözeltiler karıştırıldıktan sonra oluşacak çökeleğin kütlesi (g olarak) nedir? (b) Son çözeltideki iyonların derişimleri nelerdir? Her küreyi 0,100 mol olarak değerlendiriniz. Hacimlerin toplanabilir olduğunu kabul ediniz.

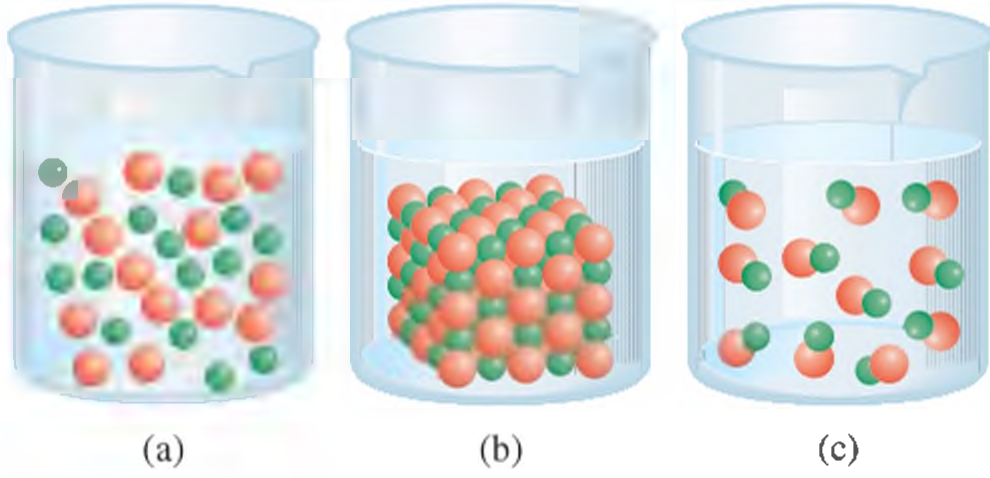


- 4.109 7,89 g çinko ile tepkimeye girecek olan 0,156 M CuSO_4 çözeltisinin hacmi nedir?
- 4.110 Sodyum karbonat (Na_2CO_3) oldukça saf halde bulunur ve asit çözeltilerinin standardizasyonunda kullanılabilir. 28,8 mL HCl çözeltisi 0,256 g Na_2CO_3 ile tepkimeye giriyorsa, HCl çözeltisinin derişimi nedir?
- 4.111 3,664 g tek protonlu asit suda çözünmüştür. Bu asidin nötralleşmesi için 20,27 mL 0,1578 M NaOH çözeltisi gerekmektedir. Asidin mol kütlesini hesaplayınız.
- 4.112 Asetik asit (CH_3COOH) sirkenin önemli bir bileşenidir. 50,0 mL ticari sirke 1,00 M NaOH'e karşı titre ediliyor. Bu titrasyon için 5,75 mL baz gerektiğine göre sirkedeki asetik asidin derişimi (M olarak) nedir?
- 4.113 15,00 mL potasyum nitrat (KNO_3) çözeltisi 125,0 mL'ye seyreltiliyor. Daha sonra bu çözeltinin 25,00 mL'si $1,000 \times 10^3$ mL'ye seyreltiliyor. Son çözeltinin derişimi 0,00383 M olduğuna göre ilk çözeltinin derişimi nedir?

- 4.114 2,50 g çinko çubuk, AgNO_3 çözeltisine yerleştirildiğinde çubuğun üzerinde gümüş metali oluşmuştur. Bir süre sonra çubuk çözeltiden çıkartılıp, kurutulup, tartılmıştır. Çubuğun kütlesi 3,37 g olduğuna göre, buradaki Ag ve Zn metallerinin kütlelerini hesaplayınız.
- 4.115 2,27 L 0,0820 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ile 3,06 L 0,0664 M Na_2SO_4 karıştırıldığında oluşan çökeleğin kütlesini hesaplayınız.
- 4.116 10,7 mL 0,211 M HNO_3 çözeltisi 16,3 mL 0,258 M NaOH çözeltisine eklendiğinde, son çözeltide kalan asidin (veya bazın) derişimini hesaplayınız.
- 4.117 (a) Magnezyum hidroksit $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$, bir elde edilme yöntemini anlatınız, çözünürlüğünü bulunuz. (b) Mide asidi salgısına karşı (çoğunlukla hidroklorik asit) kullanılan magnezya sütü, çoğunlukla magnezyum hidroksitten $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ oluşur. İki kaşık magnezya sütü (yaklaşık 10,0 mL) ile tepkimeye girecek olan 0,035 M HCl (mide rahatsızlığındaki derişim) çözeltisinin hacmini hesaplayınız. [magnezya sütü: 0,080 g $\text{Mg}(\text{OH})_2/\text{mL}$]
- 4.118 X^{2+} iyonu oluşturduğu bilinen 1,00 gram X metal örneği 0,100 L 0,500 M H_2SO_4 çözeltisine atılmıştır. Bütün metal tepkimeye girdikten sonra geriye kalan asidi nötralleştirmek için 0,0334 L 0,500 M NaOH gerektiğine göre, metalin mol kütlesini hesaplayınız ve hangi metal olduğunu belirleyiniz.
- 4.119 Havadaki karbon dioksit, LiOH ve $\text{Ba}(\text{OH})_2$ gibi metal hidroksitler kullanılarak uzaklaştırılabilir. (a) Bu tepkimelerin eşitlerini yazınız. (Karbon dioksit su ile tepkime vererek karbonik asidi oluşturur.) (b) $5,00 \times 10^2$ mL 0,800 M LiOH ve $5,00 \times 10^2$ mL 0,800 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$ çözeltisi ile uzaklaştırılabilecek CO_2 kütlesini hesaplayınız. (c) Uzay kapsülünde ve deniz altında kullanmak için, bu çözeltilerden hangisini tercih edersiniz?
- 4.120 Malonik asidin molekül formülü $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$ 'dür. 0,762 g malonik asit içeren çözeltinin nötralizasyonu için 12,44 mL 1,174 M NaOH gerekiyorsa, molekülde iyonlaşabilen kaç tane H atomu vardır?
- 4.121 Çözünürlüğün nicel tanımı, belirli bir sıcaklıkta bilinen bir hacimdeki suda çözünebilen (g olarak) maksimum madde miktarıdır. Bir bileşiğin çözünürlüğünü bulmanızı sağlayacak olan, bir deney tarif ediniz.
- 4.122 60,0 mL 0,513 M glukoz ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ile 120,0 mL 2,33 M glukoz çözeltileri karıştırılıyor. Toplam hacmin değişmediğini kabul ederek, son çözeltinin derişimini hesaplayınız.
- 4.123 Bir X iyonik bileşiği suda çok az çözünmektedir. Bileşiğin suda bir miktarda olsa çözündüğünü göstermek için hangi test uygulanmalıdır?

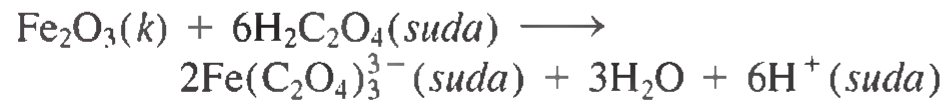
- 4.124** Bir öğrenciye demir(II) sülfat mı, yoksa demir (III) sülfat mı olduğu bilinmeyen bir örnek veriliyor. Bu bileşiğin hangisi olduğunu belirlemek için kimyasal bir yöntem öneriniz. (Her iki demir bileşiği de suda çözünmektedir.)
- 4.125 Size renksiz bir sıvı veriliyor. Bu sıvının su olduğunu kanıtlamak için yapabileceğiniz üç kimyasal testi tarif ediniz.
- 4.126** Bir öğrenci Şekil 4.1'de gösterilen düzeneği kullanarak, sülfürik asit çözeltisinin ampulün daha parlak yanmasına neden olduğunu bulmuştur. Buna karşın belirgin bir miktar baryum hidroksit $[Ba(OH)_2]$ eklendiğinde ışığın kısıldığını gözlemlemiştir. Baryum hidroksit kuvvetli bir elektrolit olmasına karşın gözlemlenen bu durumu açıklayınız.
- 4.127 Bir metal karbonatın (MCO_3) mol kütlesi, karbonatın tamamı ile tepkimeye girecek olan HCl asidi eklenmesinden sonra, kalan asidin NaOH çözeltisi ile "geri titrasyonu"ndan bulunabilir. (a) Bu tepkimeler için bir eşitlik yazınız. (b) Belirli bir deneyde, 20.00 mL 0.00800 M HCl, 0.1022 g MCO_3 örneğine eklenmiştir. Fazla HCl'in nötralleşmesi için 5.64 mL 0.1000M NaOH gerekmiştir. Karbonatın mol kütlesini hesaplayınız ve M'yi belirleyiniz.
- 4.128** 5.012 g demir klorür hidrat örneği fırında kurutuluyor. Susuz bileşiğin kütlesi 3.195 g'dır. Daha sonra bileşik suda çözünüyor ve fazla miktarda $AgNO_3$ ile tepkimeye sokuluyor. Oluşan $AgCl$ çökeleği 7.225 g olduğuna göre başlangıçtaki bileşiğin formülü nedir?
- 4.129 Molekül formülü bilinmeyen, çözünabilir bir madde veriliyor. (a) Bu maddenin asit olduğunu gösteren üç test öneriniz. (b) Asit olduğunu belirledikten sonra, derişimi bilinen NaOH çözeltisi kullanarak mol kütlesinin nasıl bulabileceğini açıklayınız (asit tek protonludur). (c) Asitin kuvvetli ya da zayıf asit olup olmadığını nasıl anlarsınız? Karşılaştırma için Şekil 4.1'deki NaCl örneği ve düzenek verilmiştir.
- 4.130** Size NaCl ve sukroz($C_{12}H_{22}O_{11}$) içeren iki ayrı renksiz çözelti veriliyor. Bu iki çözeltiyi birbirinden ayırt etmenizi sağlayacak kimyasal ve fiziksel testler öneriniz.
- 4.131 Nitrat (NO_3^-) iyonlarını da içeren atık sudaki Pb^{2+} derişimi, 500 mL atık suya sodyum sülfat (Na_2SO_4) eklenmesi ile belirleniyor. (a) Tepkime için moleküller ve net iyonik eşitlikleri yazınız. (b) Pb^{2+} iyonlarının $PbSO_4$ olarak tam çökmesi için 0.00450 g Na_2SO_4 gerektiğine göre Pb^{2+} derişimi nedir?
- 4.132** Hidroklorik asit, sülfürik asit ve nitrik asit gibi yükseltgen bir asit değildir. Neden, klorür iyonunun SO_4^{2-} ve NO_3^- gibi kuvvetli bir yükseltgen olmadığını açıklayınız.
- 4.133 Potasyum iyodürü (KI), (a) bir asit-baz tepkimesi ile (b) bir asit ile bir karbonat bileşiği tepkimesi ile nasıl elde edersiniz.
- 4.134** Sodyum, su ile hidrojen gazı vermek üzere tepkimeye girer. Bu tepkime neden hidrojenin laboratuvarı eldesi için kullanılmaz?
- 4.135 Aşağıdaki bileşikler nasıl elde edebileceğinizi anlatınız: (a) $Mg(OH)_2$, (b) AgI , (c) $Ba_3(PO_4)_2$.
- 4.136** Laboratuvar zeminine derişik H_2SO_4 döküldüğünde, asidi nötrleştirmek için üzerine derişik NaOH çözeltisi dökmek mi yoksa katı $NaHCO_3$ püskürtmek mi uygundur? Tercihinizi kimya ilkeleriyle açıklayınız.
- 4.137 (a) $NaNO_3$ ve $Ba(NO_3)_2$, (b) $Mg(NO_3)_2$ ve KNO_3 , (c) KBr ve KNO_3 , (d) K_3PO_4 ve KNO_3 , (e) Na_2CO_3 ve $NaNO_3$, sulu çözeltilerindeki anyon ve katyonları nasıl ayırabileceğinizi açıklayınız.
- 4.138** Verilen şu maddeler evlerde yaygın olarak kullanılmaktadır: Sofra tuzu ($NaCl$), çay şekeri(sukroz), sirke (asetik asit içerir), yemek sodası ($NaHCO_3$), çamaşır sodası ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$), borik asit (H_3BO_3 , göz yıkamada kullanılır), İngiliz tuzu ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), sodyum hidroksit (lavabo açmada kullanılır), amonyak, magnezya sütü [$Mg(OH)_2$] ve kalsiyum karbonat. Bu bölümde öğrendiklerinizi kullanarak, yukarıda verilen bileşiklerin tanınmasını sağlayacak testler öneriniz.
- 4.139 Sülfidler (SO_3^{2-} içeren bileşikler) kuru meyve-sebze ve şarap üretiminde koruyucu olarak kullanılır. Meyvede sülfid varlığını tespit etmek için yapılan bir deneyde, öğrenci birkaç kuru kayısıyı suya koymuş ve bir gece bekletmiştir. Ardından bütün katı tanecekleri uzaklaştırmak için çözeltiyi süzmüştür. Daha sonra sülfid iyonlarını sülfata çevirmek için çözeltiyi hidrojen peroksit (H_2O_2) ile muamele etmiştir. Son olarak sülfat iyonlarını birkaç damla baryum klorür çözeltisi ($BaCl_2$) ile çöktürmüştür. Her bir basamak için denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.
- 4.140** 0.8870 gram NaCl ve KCl karışımı suda çözülüyor ve üzerine aşırı miktarda $AgNO_3$ ilavesiyle 1.913 g $AgCl$ çökeleği elde ediliyor. Karışımındaki her bir bileşiğin kütlece yüzdesini bulunuz.
- 4.141 Yükseltgenme basamaklarını düşünerek, neden karbon monoksit (CO) yanıcı olduğunu, buna karşın karbon dioksit (CO_2) yanıcı olmadığını açıklayınız.
- 4.142** Aşağıdaki diyagramlardan hangisi, $AgOH$ (suda) ile HNO_3 (suda) arasındaki tepkimeye karşılık gelir?

Bu tepkime için denkleştirilmiş eşitlik yazınız. Yeşil küreler Ag^+ iyonlarını, kırmızı küreler ise NO_3^- iyonlarını göstermektedir.



4.143 Klor, farklı yükseltgenme basamaklarında (+1, +3, +4, +6 ve +7) bir kaç oksit oluşturur. Bu bileşiklerin her biri için bir formül yazınız.

4.144 Okzalik asitin faydalı bir uygulaması, örneğin banyo giderlerindeki pasın (Fe_2O_3) uzaklaştırılmasıdır. Tepkime şöyledir:



5.00×10^2 mL 0.100 M okzalik asit çözeltisi ile kaç gram pas uzaklaştırılabilir?

4.145 Asetilsalisilik asit ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$), "aspirin" olarak bilinen tek protonlu bir asittir. Ancak aspirin tableti bu asitin küçük bir miktarını içerir. Aspirinde asetilsalisilik asit tayini için yapılan bir deneyde, bir aspirin tableti ezilip suda çözülüyor ve asiti nötürleştirmek için 0.1466 M NaOH' ten 12.25 mL harcanıyor. Tabletteki aspirin miktarının kaç granül olduğunu bulunuz. (bir granül = 0.0648 gram)

4.146 0.9157 g CaBr_2 ve NaBr karışımı suda çözülüyor ve AgBr çökeleği oluşturmak için üzerine AgNO_3 çözeltisi ekleniyor. Çökeğin kütlesi 1.6939 g ise, başlangıç karışımında kütlece yüzde kaç NaBr vardır?

4.147 Hidrojen halojenürler (HF , HCl , HBr , HI) sanayide ve laboratuvarlarda birçok uygulama alanı olan bileşiklerdir. (a) Laboratuvarlarda, HF ve HCl hidrojen halojenürleri, CaF_2 ve NaCl 'ün derişik H_2SO_4 ile tepkimesi sonucu elde edilirler. Bu tepkimeler için uygun eşitlikler yazınız (*İpucu*: Redoks tepkimesi değildirler). (b) Neden HBr ve HI benzer tepkimelerle, yani NaBr ve NaI 'ün derişik H_2SO_4 ile tepkimesi sonucu elde edilemezler? (*İpucu*: H_2SO_4 bileşiği Br_2 ve I_2 'dan daha güçlü yükseltgen maddedir.) (c) HBr , fosfor tribromürün (PBr_3) su ile tepkimesi sonucu elde edilir. Bu tepkime için bir eşitlik yazınız.

4.148 325 mL'lik bir çözelti 25.3 gram CaCl_2 içermektedir. (a) Bu çözeltideki Cl^- iyonlarının molar derişimini hesaplayınız. (b) Bu çözeltinin 0.100 L'sinde kaç gram Cl^- iyonu vardır?

4.149 Fosforik asit (H_3PO_4) gübrelerde, deterjanlarda ve gıda sanayide kullanılan önemli bir sanayi kimyasalı olup, iki değişik yolla üretilir. Bunlardan *elektrik fırını yönteminde*, elementel fosfor (P_4), P_4O_{10} oluşturmak üzere hava ile yakılır, sonra oluşan P_4O_{10} su ile tepkimeye sokularak H_3PO_4 elde edilir. *Islak yöntemde* ise, fosfat kayası minerali [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$] sülfürik asit ile tepkimeye sokularak H_3PO_4 elde edilir (HF ve CaSO_4 'da oluşur). Her iki yöntem için de eşitlikleri yazınız. Her bir basamağın çöktürme, asit-baz ya da redoks tepkimesi şeklinde sınıflandırmasını yapınız.

4.150 Amonyum nitrat (NH_4NO_3) en önemli azot içeren gübrelerden biridir. Amonyum nitratın saflık derecesi. NH_4NO_3 çözeltisinin ayarlı NaOH çözeltisi ile titre edilmesiyle bulunur. Yapılan bir deneyde, sanayide üretilen 0.2041 gramlık NH_4NO_3 örneğini nötürleştirmek için 0.1023 M NaOH' ten 24.42 mL kullanılmıştır.

(a) Tepkime için net iyonik eşitliği yazınız.

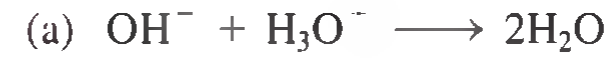
(b) Örneğin saflık yüzdesi nedir?

4.151 Aşağıdaki tepkime bir redoks tepkimesi midir? Açıklayınız



4.152 HFO'daki O'nin yükseltgenme basamağı kaçtır?

4.153 Şekil 4.7 ve 4.8'deki gibi molekül modelleri kullanarak aşağıdaki asit-baz tepkimelerini gösteriniz.



Her ikisinin de Bronsted asit ve bazını belirleyiniz.

4.154 Bir sürücünün 10.0 g kan örneğindeki alkol miktarı titrasyonu için 4.23 mL 0.07654 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ gerekmektedir. Alkollü araç kullanımından sürücü tutuklanmalı mıdır? (*İpucu*: bak. s.144 "Kimya İşbaşında".)

4.155 Derişik nitrik asit durdukça yavaş yavaş sarı renge döner. Açıklayınız. (*İpucu*: Nitrik asit yavaşça bozunur. Azot dioksit renkli bir gazdır.)

4.156 Aşağıdaki gazların laboratuvar koşullarında hazırlanmasını açıklayınız: (a) hidrojen, (b) oksijen, (c) karbondioksit ve (d) azot. Her durumda tepken ve ürünlerin fiziksel hallerini belirtiniz. [*İpucu*: Azot, amonyum nitratın (NH_4NO_2) ısıtılması ile elde edilebilir.]

4.157 Şekil 4.18'den yararlanarak, çözelti hacmini ayarlamadan önce neden katının tamamen çözülmesi gerektiğini açıklayınız.

4.158 Aşağıdaki tepkime asit-baz tepkimesi olarak tanımlanabilir mi? Açıklayınız

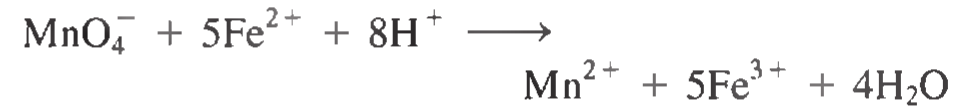


4.159 Aşağıdakilerden her birine kimya açısından açıkla-
lama getiriniz: (a) Kalsiyum metali sülfürik asit çözeltisine atıldığında hidrojen gazı oluşur. Birkaç da-

kika sonra, tepkime yavaşlar ve tepkenlerin ikisi de bitmemesine rağmen tepkime durur. Açıklayınız. (b) Etkinlik serisinde alüminyum hidrojenin üzerinde dir. Ancak buna rağmen su buharı ve hidroklorik asit ile tepkimeye girmez. Neden? (c) Sodyum ve potas yum etkinlik serisinde bakırın üzerindedir. Bu metalleri CuSO_4 çözeltisine koyduğumuzda Cu^{2+} iyon larının metalik bakıra neden dönüşmediğini açıkla yınız. (d) Bir M metali su buharı ile yavaş tepki meye girer. Açık yeşil renkli demir (II) çözeltisine konulduğunda ise gözle görüntür bir değişim olmaz. Bu metali etkinlik serisinde nereye koymalıyız? (e) Alüminyum metali önceleri elektroliz ile elde edile miyordu ve AlCl_3 'ün aktif bir metal ile indirgenme siyle elde ediliyordu. Bu yöntem ile alüminyum elde etmek için hangi metaller kullanılabilir?

- 4.160** Çok seyreltik çözeltilerin çok küçük kütle tartımıyla ya da çok küçük hacimde stok çözeltiyle hazırlanması yerine, büyük derişimlerden bir seri seyreltmeyle hazırlanması önerilir. Buna göre, KMnO_4 çözeltisi hazırlamak için 0.8214 gram KMnO_4 suda çözülüyor ve ölçütlü balonda 500 mL'ye tamamlanıyor. Bu çözeltiden 2.000 mL'lik bir kısım alınarak 1000 mL'lik ölçütlü balona aktarıldıktan sonra ölçü çizgisine kadar su ilave edilerek seyreltiliyor. Daha sonra bu seyreltik çözeltiden 10.00 mL alınıp 250 mL'lik balonda transfer edilip ve ölçü çizgisine kadar su ilave edilerek seyreltiliyor. (a) Son çözeltinin derişimini (M) hesaplayınız. (b) Son çözeltiyi doğrudan hazırlamak için gerekli KMnO_4 kütlelerini hesaplayınız.
- 4.161** Bazı genel kimya laboratuvarlarında “bakır dönüştü” deneyi yapılmaktadır. Deneyde bakır ile başlayan bir dizi tepkime, metalik bakır ile sona erer. Deney basamakları şunlardır: (1) Kütleli bilinen bir parça bakır tel derişik nitrik asit ile tepkimeye sokulur [ürünler bakır(II) nitrat, azot dioksit ve sudur]. (2) Bakır (II) nitrat, sodyum hidroksit ile bakır(II) hidroksit çökeleği vermek üzere muamele edilir. (3) Isıtmayla bakır (II) hidroksit bozunarak bakır(II) oksite dönüştürülür. (4) Bakır(II) oksit ile derişik sülfürik asit, bakır (II) sülfat oluşturur. (5) Bakır(II) sülfat aşırı miktarda çinko ile tepkimeye sokularak metalik bakıra dönüştürülür. (6) Fazla çinko metali hidroklorik asit ile uzaklaştırılıp, metalik bakır süzülür, kurutulur ve tartılır. (a) Her bir basamak için eşitlikleri denkleştirerek yazınız ve tepkimeleri sınıflandırmınız. (b) Öğrencinin 65.6 gram bakır ile deneye başladığını varsayarak, her basamak için kuramsal verimi hesaplayınız. (c) Her bir basamaktaki tepkimelerin kimyasal özelliklerini düşünerek, neden başlangıçtaki bakırın tamamının değil de çoğunun geri kazanılmasının mümkün olduğunu yorumlayınız.
- 4.162** Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarını içeren 25.0 mL'lik çözelti, 23.0 mL 0.0200M KMnO_4 (seyreltik sülfürik asitte) ile titre ediliyor. Sonuç olarak bütün Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgeniyor. Daha sonra çözelti

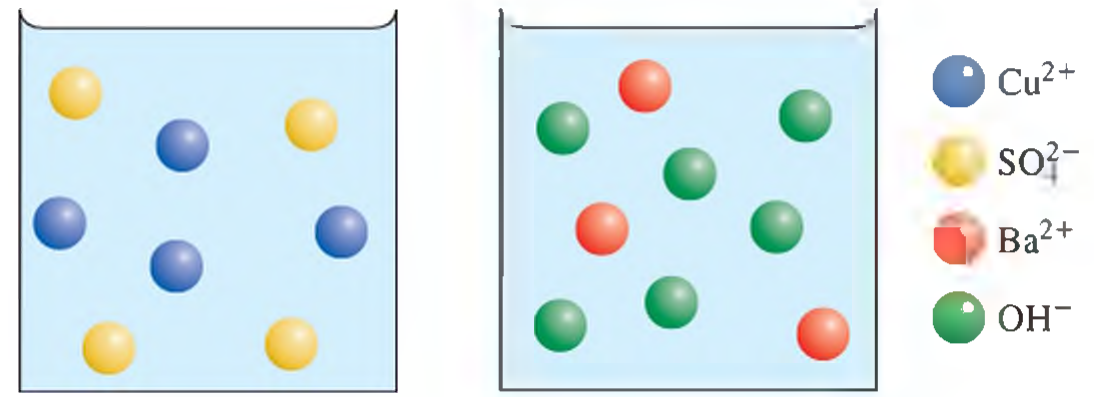
bütün Fe^{3+} iyonlarını Fe^{2+} iyonlarına dönüştürmek için çinko metali ile etkileştiriliyor. Son olarak, sadece Fe^{2+} iyonlarını içeren çözeltinin Fe^{3+} iyonlarına yükseltgenmesi için aynı KMnO_4 çözeltisinden 40 mL gerekiyor. İlk çözeltideki Fe^{2+} ve Fe^{3+} ün molar derişimlerini hesaplayınız. Net iyonik eşitlik:



- 4.163 (a) Soğuk su ile hidrojen yer değiştirmesi yapabilecek. (b) su buharı ile hidrojen yer değiştirmesi yapabilecek. (c) asit ile hidrojen yer değiştirmesi yapabilecek iki metalin adlarını ve yerlerini aşağıda verilen periyodik çizelgede gösteriniz.

- 4.164** Sayfa 156'daki "Kimya İşbaşında" okuma parçasına dayanarak aşağıdaki soruları cevaplayınız. (a) Çökme. asit-baz, redoks işlemlerini tanımlayınız. (b) Kalsiyum oksit yerine, magnezyum hidroksiti çöktürmek için neden basitçe deniz suyu sodyum hidroksit eklemiyoruz? (c) Bazen magnezyum hidroksitin çökmesi için kireç taşı yerine, dolomit adı verilen bir mineral (CaCO_3 ve MgCO_3 karışımı) kullanılır. Dolomit kullanılmasının avantajı nedir?
- 4.165** 1.615 g $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ içeren 22.02 mL çözelti, 1.073 g NaOH içeren 28.64 mL çözelti ile karıştırılıyor. Tepkime tamamlandıktan sonra çözeltide kalan iyonların derişimlerini hesaplayınız. Hacimlerin toplanabilir olduğunu kabul ediniz.
- 4.166** Dört metale (A,B,C ve D) uygulanan testlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.
- (a) Sadece B ve C, 0.5 M HCl ile H_2 gazı açığa çıkarmak üzere tepkime veriyor.
- (b) Diğer metallerin iyonlarını içeren çözeltiye B eklendiğinde metalik A,C ve D oluşuyor.
- (c) A, 6M HNO_3 ile tepkime verirken, D tepkime vermiyor.
- Bu metalleri artan indirgenliklerine göre sıralayınız. Bu özelliklere uyan dört metali tanımlayınız.
- 4.167** Bilinen bazı hücrelerde, Gramisidin A antibiyotiği Na^+ iyonlarını $5.0 \times 10^7 \text{ Na}^+ / \text{s}$ hızla transfer eder. İç hücre hacmi 2.0×10^{-10} mL olan bir hücrenin derişimini $8.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 'a çıkarmak için gerekli zamanı saniye cinsinden hesaplayınız.

- 4.168** Yanda değişik iyonlar içeren iki çözelti gösterilmiştir. Her iki çözeltinin de hacmi 600 mL'dir. (a) Çözeltiler karıştırıldıktan sonra meydana gelen tepkime için net iyonik eşitliği yazınız. (b) Oluşan çökeleklerin kütlelerini ve çözeltideki iyonların derişimini hesaplayınız. Her küreyi 0,0500 mol olarak kabul ediniz.



Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 4.169 Pek çok proteinde yapısal ya da redoks işlevi için metal iyonları bulunur. Verilen şu metallerden hangisi bu işlevlerden birine veya her ikisine de uyar: Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn?
- 4.170 Tedavi edici reaktiflerin damardan verilmesi kan dolaşımına en hızlı katılma yoludur (intravenöz tedavi, veya IV terapi). Araştırmacılar yeni bir ilacın deneme çalışmalarına katılan yetişkin bir erkeğin kandaki ilaç başlangıç derişimini 6×10^{-4} mmol/L yapmak istiyorlar. İlaç serumu hastanede 1.2×10^{-1} mol/L olarak bulunduğuna göre, istenilen ilaç başlangıç derişimine ulaşılabilmesi için damar yolu ile ne kadar serum verilmesi gerekir?
- 4.171 Topluma verilen sular NaF, H_2SiF_6 ve Na_2SiF_6 gibi kimyasalların eklenmesi ile "florlanır". Florun dış çürütmesini engellediği bilinmektedir. Buna karşın fazla miktarda alınmamasına dikkat edilmelidir. Güvenli ve etkin flor derişimi yaklaşık 1 mg/L olarak kabul edilir. 1 yılda boyunca florlu su içen bir kişi ne kadar flor tüketir? Buna denk sodyum florür kütlesi ne olur?
- 4.172 Potasyum süperoksit (KO_2) solunum ekipmanlarında yer alan faydalı bir oksijen kaynağıdır. Potasyum süperoksit su ile potasyum hidroksit, hidrojen peroksit ve oksijen oluşturmak üzere tepkimeye girer. Ayrıca, potasyum süperoksit karbondioksit ile tepkimeye girerek potasyum karbonat ve oksijen oluşturur. (a) Bu iki tepkime için eşitlikleri yazınız, potasyum süperoksitin uygulamadaki etkinliği hakkında yorum yapınız. (b) Sadece KO_2 ve CO_2 arasındaki tepkimeye yoğunlaştığımızda, kirli bir çevrede bulunan işçinin 30 dakika çalışmaya devam edebilmesi için ihtiyaç duyacağı KO_2 miktarını bulunuz. Faydalanılacak bilgi için Problem 1.69' a bakınız.

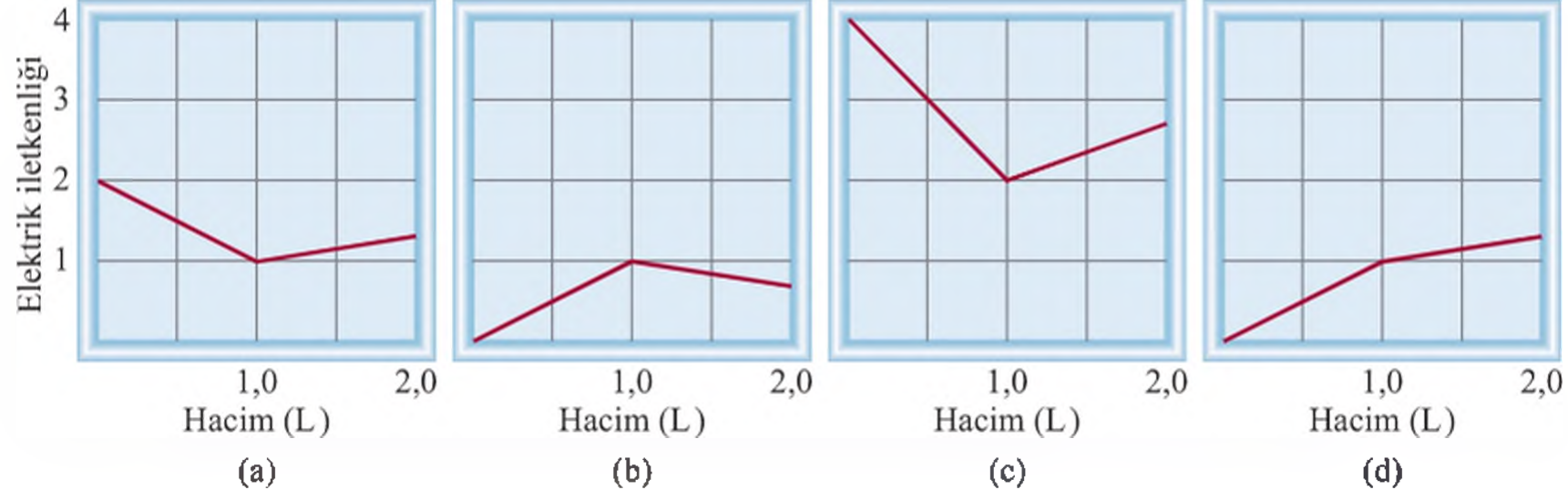


- 4.173 Tuz ruhu, duvar yüzeylerinin temizliğinde kullanılan ticari saflıktaki hidroklorik asittir. Tuz ruhu genel olarak kütlece % 10 HCl içerir ve yoğunluğu 1.2 g/cm^3 dir. 5.08 cm iç çaplı sıcak su borusunun 210.3 cm'lik kısmında 1.26 cm tabaka kalınlığında kazan taşı birikmiştir. (bak. s.126 Kimya İşbaşında) Kazan taşının uzaklaştırılması için kullanılması gereken minimum tuzruhu hacmi nedir?
- 4.174 Bu bölümde gördüğümüz bütün asit-baz ve çökme tepkimeleri iyonik türler içerdiğinden, tepkimelerin ilerleyişi, çözeltinin elektriksel iletkenliğinin ölçümü ile yapılabilir. Aşağıdaki tepkimeleri, altta verilen çizimler ile eşleştiriniz. Elektriksel iletkenlik keyfi bir birimde gösterilmiştir.
- (1) 1.0 L 1.0 M CH_3COOH 'e 1.0 M KOH ekleniyor.
- (2) 1.0 L 1.0 M HCl'e 1.0 M NaOH ekleniyor.

(3) 1,0 L 1,0 M K_2SO_4 'e 1,0 M $BaCl_2$ ekleniyor.

(4) 1,0 L 1,0 M $AgNO_3$ 'a 1,0 M $NaCl$ ekleniyor.

(5) 1,0 L 1,0 M NH_3 'a 1,0 M CH_3COOH ekleniyor.



Alystırmaların Cevapları

4.1 (a) Az çöztür, (b) Az çöztür, (c) çöztür.

4.2 $Al^{3+}(suda) + 3OH^{-}(suda) \longrightarrow Al(OH)_3(k)$. 4.3 (a)

Brønsted bazı, (b) Brønsted asiti. 4.4 Moleküler eşitlik:

$H_3PO_4(suda) + 3NaOH(suda) \longrightarrow Na_3PO_4(suda) + 3H_2O(s)$; iyonik eşitlik: $H_3PO_4(suda) + 3Na^{+}(suda) + 3OH^{-}(suda) \longrightarrow 3Na^{+}(suda) + PO_4^{3-}(suda) + 3H_2O(s)$; net iyonik eşitlik: $H_3PO_4(suda) + 3OH^{-}(suda) \longrightarrow$

$PO_4^{3-}(suda) + 3H_2O(s)$. 4.5 (a) P: +3, F: -1; (b) Mn: +7,

O: -2. 4.6 (a) Hidrojen yer değiştirme tepkimesi, (b)

birleşme tepkimesi, (c) yarıma tepkimesi, (d) metal yer

değiştirme tepkimesi. 4.7 0,452 M. 4.8 494 mL 4.9 Stok

çöztelinin 34.2 mL' si 200 mL' ye seyreltilir. 4.10 %92.02.

4.11 0.3822 g. 4.12 10.0 mL. 4.13 204 mL.

KİMYANIN Gizemi

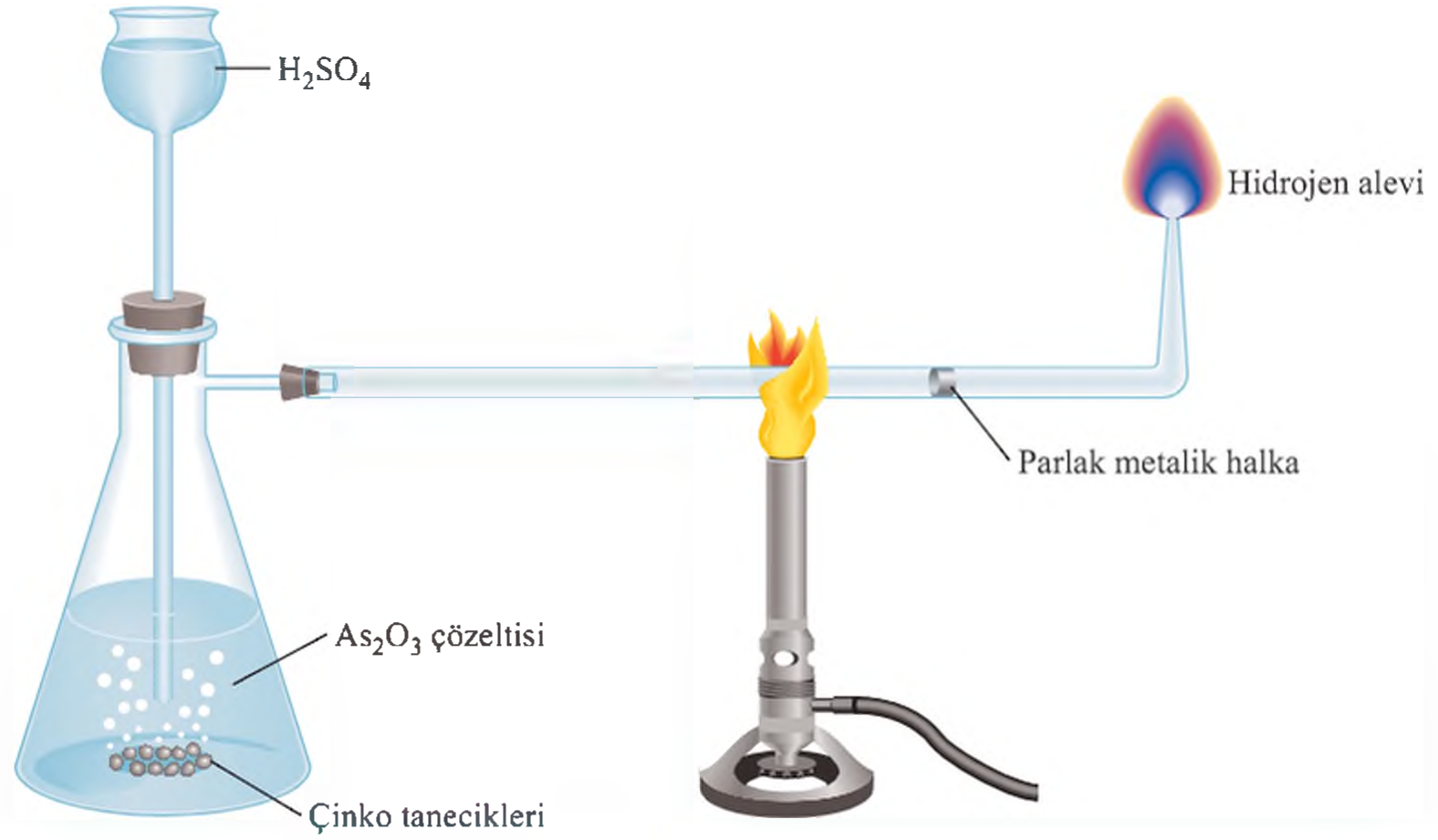
Napolyon'u Kim Öldürdü?

1 815'deki Waterloo yenilgisinden sonra Napolyon, Atlantik Okyanusunda küçük bir ada olan St Helena'ya sürüldü ve burada hayatının 6 yılını geçirdi. 1960'larda Napolyon'un saç örneği analiz edildi ve yüksek seviyede arsenik içerdiği bulundu. Bu da zehirlenmiş olabileceğini düşündürdü. Başlıca şüpheliler Napolyon ile pek anlaşılmayan St. Helena valisi ve Fransa'ya dönmelerini engellemek isteyen Fransız kraliyet ailesi idi.

Elementel arsenik zararlı değildir. Yaygın olarak kullanılan bu zehir gerçekte arsenik (III) oksit [As_2O_3] olup beyaz, suda çözünmeyen, tatsız, ve belirli bir zaman aralığı içinde verildiğinde belirlenmesi güç bir bileşiktir. Torunların dedelerin şaraplarına ekleyerek ölümlerini hızlandırdıkları ve mülklerinin miras olarak kalmasını sağladıkları bu madde eskiden "miras tozu" olarak bilinirdi!

1832'de İngiliz kimyager James Marsh arsenik tespiti için bir yöntem geliştirmiştir. Şimdi Marsh'ın adını taşıyan bu teste göre, çinko ile sülfürik asit tepkimesi sonucu oluşturulan hidrojen gazını, şüphelenilen zehir ile tepkimeye sokulmaktadır. Örnekte As_2O_3 varsa, As_2O_3 ile hidrojen gazı, zehirli bir bileşik olan arsin (AsH_3) gazını üretmek üzere tepkimeye girer. Arsin gazı ısıtıldığında bozunup arseniği oluşturur ve arsenik metalik parlaklığı ile fark edilir. Marsh testi, As_2O_3 cinayetleri için etkili ve caydırıcıdır. Ancak, Napolyon gerçekten kasıtlı arsenik zehirlenmesi kurbanıysa, ne yazık ki bu test ona faydası olamayacak kadar geç icat edilmiştir.

Marsh testi için bir düzenek. Sülfürik asit, çinko ve arsenik(III)oksit içeren çözeltiye ilave edilir. Açığa çıkan hidrojen gazı As_2O_3 ile Arsin(AsH_3) oluşturmak üzere tepkimeye girer. Arsin ısıtıldığında, metalik parlaklığı ile fark edilen elementel arseniğe ve hidrojen gazına bozunur.



1990'ların başında, Napolyon'un ölümü ile ilgili komplo teorisi konusundaki şüpheler, Napolyon'un resim odasındaki bir tablodan alınan örnekte bakır arsenat (CuHAsO_4) tespiti ile güçlenmiştir. CuHAsO_4 Napolyon'un yaşadığı dönemde, boyamada sık kullanılan yeşil bir pigmenttir. St Helena'nın nemli iklimi, resim üzerindeki küf oluşumunu tetiklemiştir. Arseniğin küften uzaklaşması, küfün arseniği uçucu ve çok zehirli bir bileşik olan trimetil arsine $[(\text{CH}_3)_3\text{As}]$ dönüştürmesiyle gerçekleşmiştir. Ölümünün başlıca sebebi olmasa da, Napolyon'un trimetil arsin buharına uzun süre maruz kalması, sağlığını bozmuş olabilir. Bu durum Napolyon'un vücudundaki arsenik varlığını açıklayabilir. Bu ilginç teori, Napolyon'un yanında sürekli olarak bulunanların barsak hastalığına yakalanmaları ve arsenik zehirlenmesinin diğer semptomlarından muzdarip olmaları, buna karşın adadaki hobileri olan bahçede çalıştıklarında ise bu rahatsızlıktan kurtulup sağlıklarının daha iyiye gitmesi ile desteklenmiştir.

Napolyon'un kasıtlı olarak veya bilmeden, arsenik zehirlenmesinden ölüp ölmediğini muhtemelen hiçbir zaman bilemeyeceğiz. Ancak, tarihin izini sürdüğümüz bu uygulama, kimyasal analiz kullanımı ile ilgili heyecan verici bir örnektir. Kimyasal analiz sadece adli bilimlerde değil, ticari ürünlerin kalite kontrolü, tıbbi teşhis gibi, temel bilimden pratik uygulamalara kadar pek çok alanda önemli rol oynar.

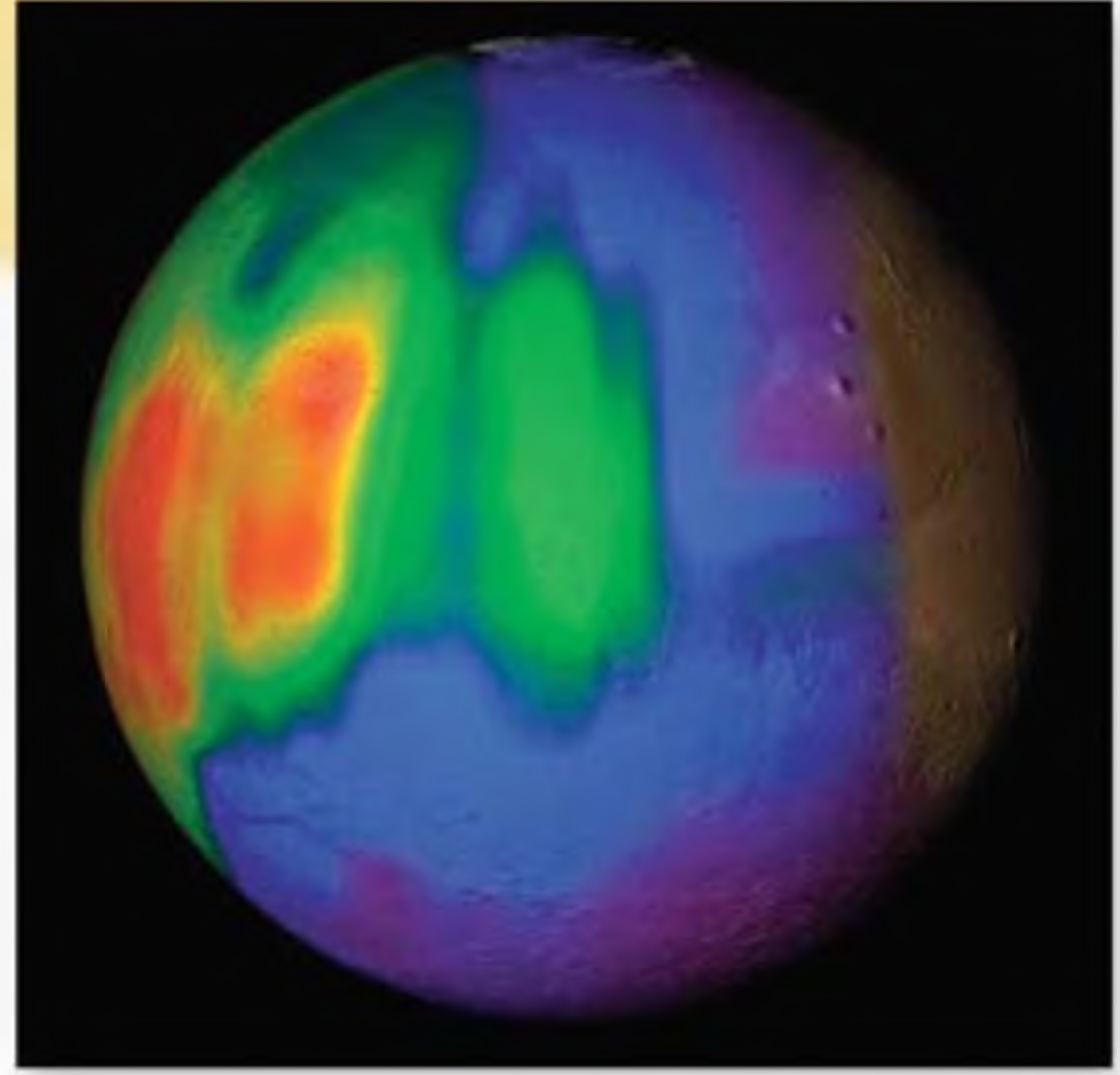
Kimyasal İpuçları

1. Napolyon'un saçındaki arsenik, *nötron aktivasyon yöntemi* olarak adlandırılan bir teknik ile belirlenmiştir. As-75 yüksek enerjili nötronlar ile bombardıman edildiğinde, radyoaktif izotopu olan As-76'ya dönüşür. Bu radyoaktif izotop tarafından yayınlanan γ ışınlarının enerjileri karakteristik olup ışının şiddeti örnekte ne kadar arsenik olduğunu ortaya koyar. Bu teknikle oldukça az miktardaki arsenik belirlenebilir. Başka bir deyişle, 1 g örnekte 5 ng (5×10^{-9} g) kadar arsenik belirlenebilir. (a) As'in iki izotopu için kütle numarası ve atom numarasını gösteren singeleri yazınız. (b) Arsenik içeriğinin kimyasal analiz yerine, nötron aktivasyon yöntemi ile analiz edilmesinin iki avantajını belirtiniz.
2. Arsenik insan vücudu için vazgeçilmez elementlerden biri değildir. (a) Periodik çizelgedeki konumuna bakarak, bu elementin toksik oluşu ile ilgili bir açıklama öneriniz. (b) Arsenik zehirlenmesinden şüphe ediliyorsa, saç dışında bu elementin birikmesini araştırmak için başka nereye bakılabilir?
3. Arsenik için yapılan Marsh testi aşağıdaki aşamaları içerir: (a) Çinkoya sülfürik asit eklenmesi ile hidrojen gazı oluşumunu. (b) As(III) oksitin, arsin oluşturmak üzere hidrojen ile tepkimeye girmesini. (c) Arsinin ısıtılma ile arseniğe dönüşmesi. Bu basamakları temsil eden eşitlikleri yazınız ve her basamakta tepkime türünü belirtiniz.



Napolyon'un bir tutam saçı.

Gazlar



Son yıllarda Mars atmosferinde önemli miktarda su buharı ve metan tespit edilmiştir (derişim mordan kırmızıya artış göstermektedir). Metan jeotermal aktivite yoluyla salınabilir veya bakteriler tarafından üretilebilir. Bu da Mars'da hayat olabileceği spekülasyonlarınca neden olmaktadır.

Bölüm Başlıkları

- 5.1 Gaz Halinde Bulunan Maddeler
- 5.2 Bir Gaz Basıncı
- 5.3 Gaz Yasaları
- 5.4 İdeal Gaz Eşitliği
- 5.5 Gaz Stokiyometri
- 5.6 Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası
- 5.7 Gazların Kinetik Moleküler Teorisi
- 5.8 İdeal Gaz Davranışından Sapma

Toplu Bakış

- Gaz halinde bulunan maddeler ve onların genel özelliklerini inceleyerek başlayacağız. (5.1)
- Gaz basıncını ve atmosferik basıncın özelliklerini ifade etmek için birimleri öğreneceğiz. (5.2)
- Sonra, gazın basıncı, hacmi, sıcaklığı ve miktarı arasındaki ilişkiyi çeşitli gaz yasaları ile inceleyeceğiz. Bu yasalar bir gazın mol kütlesi yada yoğunluğunu da hesaplamak için kullanılabilen ideal gaz eşitliği ile özetlenebilir. (5.3 ve 5.4)
- Gazları içeren tepkimelerin stokiyometrilere incelemek için ideal gaz eşitliğinin kullanılabileceğini göreceğiz. (5.5)
- İdeal gaz eşitliğinin bir uzantısı olan Dalton kısmi basınçlar yasası yardımıyla, gaz karışımlarının davranışlarını anlayabileceğiz (5.6).
- Bir gazın basınç ve sıcaklık gibi makroskobik özelliklerini tanımlamak için, tek bir molekülün özelliklerini esas alarak moleküler kinetik teorisinin nasıl kullanılabileceğini göreceğiz. Moleküler kinetik teori, belirli sıcaklıktaki moleküllerin hızları için matematiksel bir ifade elde etmeye ve gaz difüzyonu ile efüzyonu gibi olayları anlamamıza yardımcı olur (5.7)
- Son olarak van der Waals eşitliğini kullanarak, ideal olmayan gazların davranışları için yapılan düzeltmeyi de ele alacağız. (5.8)

Belirli bir basınç ve sıcaklıkta pek çok madde, maddenin üç hali olan katı, sıvı yada gaz hal-
lerinden herhangi birinde bulunabilir. Örneğin su bileşiği katı buz, sıvı su, buhar yada su
buharı olabilir. Bir maddenin fiziksel özelliği o maddenin hangi halde bulunduğuyla bağlıdır.

Bu bölümün konusu olan gazlar, birçok yönden sıvı ve katıların incelenmesinden daha
basittir. Gazlarda moleküller hareketler tamamen rastgeledir ve moleküller arasındaki çekim
kuvvetleri oldukça küçük olup herbiri diğer molekülden bağımsız olarak hareket eder. Sıvı ve
katılara göre, sıcaklık ve basınç değişimlerine maruz bırakıldıklarında gazların davranışını
öngörmek daha kolaydır. Gazların bu davranışlarını içeren yasalar, atom kuramının ve gazların
moleküller kinetik kuramının geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

5.1 Gaz Halinde Bulunan Maddeler

Bizler, hacimce bileşimi yaklaşık %78 N₂, %21 O₂, %1 CO₂ ve diğer gazlar olan,
atmosfer okyanusunun en alt tabakasında yaşıyoruz. Bugün, çevre kirliliğinin zararlı
etkilerinden dolayı hayati önemi olan bu gaz karışımının kimyası büyük bir ilgi kay-
nağı haline gelmiştir. Atmosfer kimyası ve çevreyi kirlüten gazlar Bölüm 20'de anla-
tılmıştır. Burada, 25°C ve 1 atmosfer (atm) basınç olarak tanımlanan normal atmosfer
koşulları altında gaz halinde bulunan maddelerin davranışları üzerinde duracağız.

Şekil 5.1, normal atmosfer koşullarında gaz halinde bulunan elementleri göster-
mektedir. Hidrojen, azot, oksijen, flor ve klor elementlerinin iki atomlu gaz molekül-
leri (H₂, N₂, O₂, F₂, ve Cl₂) halinde bulunduklarına dikkat ediniz. Oksijenin diğer bir
allotropu olan ozon da (O₃) oda sıcaklığında gaz halinde bulunur. 8A grubundaki soy
gazlar: He, Ne, Ar, Kr, Xe ve Rn, tek atomlu gazlardır.

İyonik katı bileşikler çok güçlü elektrostatik çekim kuvvetleri ile bir arada tutul-
duklarından 25°C ve 1 atm'de gaz olarak bulunmazlar. Bu çekim kuvvetlerinin üstes-
inden gelmek için ısıtma yoluyla çok büyük miktarlarda enerji vermek gerekir.
Normal koşullar altında bu iyonik katıları eritmek mümkündür. Örneğin NaCl, 801°C
gibi oldukça yüksek bir sıcaklıkta erir. NaCl'ü kaynatmak için ise 1000°C'nin üzerinde
bir sıcaklık değerine çıkmanız gerekir.

1A																	8A
H												3A	4A	5A	6A	7A	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B		1B	2B	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn						

Şekil 5.1 25°C ve 1 atm'de gaz halinde bulunan elementler. Soy gazlar (Grup 8A elementleri) tek-atomludur; diğer elementler iki-atomlu
moleküller halinde bulunurlar. Ozon (O₃) üç atomlu bir gazdır.

"Gaz" ve "buhar" sık sık birbirinin yerine kullanılsa da, aralarında bir fark vardır. Gaz, normal sıcaklık ve basınçlarda gaz halinde bulunan maddeler için kullanılır. Buhar ise normal sıcaklık ve basınçlarda bir sıvı veya katının gaz şeklidir. Buna göre, 25°C ve 1 atm basınçta, su buharı ve oksijen gazı diye bahsederiz.

Çizelge 5.1 1 atm ve 25°C'de Gaz Halinde Bulunan Bazı Maddeler

Elementler	Bileşikler
H ₂ (hidrojen molekülü)	HF (hidrojen florür)
N ₂ (azot molekülü)	HCl (hidrojen klorür)
O ₂ (oksijen molekülü)	CO (karbon monoksit)
O ₃ (ozon)	CO ₂ (karbon dioksit)
F ₂ (flor molekülü)	CH ₄ (metan)
Cl ₂ (klor molekülü)	NH ₃ (amonyak)
He (helyum)	NO (azot monoksit)
Ne (neon)	NO ₂ (azot dioksit)
Ar (argon)	N ₂ O (diazot monoksit)
Kr (kripton)	SO ₂ (kükürt dioksit)
Xe (ksenon)	H ₂ S (hidrojen sülfür)
Rn (radon)	HCN (hidrojen siyanür)*

*HCN'nin kaynama noktası 26°C'dir, fakat normal atmosfer koşullarında bir gaz olarak nitelendirilebilir.

Moleküler bileşiklerin davranışları ise çok daha farklıdır. Örneğin, moleküler bileşiklerin bazıları (CO, CO₂, HCl, NH₃, ve CH₄) oda sıcaklığında gaz halindedirler, ancak büyük bir çoğunluğu ise sıvı yada katı halde bulunurlar. Moleküler bileşikler ısıtıldıklarında iyonik bileşiklerden çok daha kolay gaz haline dönüştürülebilirler. Diğer bir deyişle, moleküler bileşikler genellikle iyonik bileşiklerden çok daha düşük sıcaklıklarda kaynarlar. Moleküler bir bileşiğin normal atmosfer koşullarında gaz olup olmadığını anlamak için basit bir kural yoktur. Böyle saptama yapmak için *moleküller arasındaki çekim* kuvvetlerinin (Bölüm 11 de tartışılan) yapısını ve büyüklüğünü de bilmemiz gerekir. Genellikle bu çekim kuvvetleri büyük olduğundan, sıradan bir sıcaklıkta bir bileşiğin gaz halinde bulunma ihtimali oldukça düşüktür.

Çizelge 5.1'de belirtilen gazlardan sadece O₂ hayatta kalmanızı için gerekli olan temel bir gazdır. Hidrojen siyanür (HCN) ve hidrojen sülfür (H₂S) ise ölümcül ve zehirlidir. Karbon monoksit (CO), azot dioksit (NO₂), O₃ ve kükürt dioksit (SO₂) daha az zehirlidir. He, Ne ve argon gazları kimyasal olarak inert olup başka bir madde ile tepkimeye girmezler. F₂, Cl₂ ve NO₂ hariç, gazların çoğu renksizdir. NO₂ koyu-kahve renklidir ve kirliliğe havada görülebilir. Gazların tamamı aşağıdaki fiziksel özelliklere sahiptirler:

- Bulundukları kapların hacim ve şeklini alırlar.
- Maddenin en sıkıştırılabilir halidir.
- Aynı kaba konulduğunda tamamen karışırlar.
- Sıvı ve katılardan daha düşük yoğunluğa sahiptirler.

5.2 Bir Gazın Basıncı

Gaz molekülleri sürekli hareket halinde olduklarından temas ettikleri yüzeye basınç uygularlar. Biz insanlar etrafımızdaki havanın basıncına psikolojik olarak kendimizi o kadar alıştırmışız ki, çoğunlukla onun varlığını hissetmeyiz bile. Belli ki balıklarda suyun basıncını hissetmiyorlardır.

Atmosfer basıncını kanıtlamak oldukça kolaydır. Örneğin, bir meyve suyunu pipet yardımı ile içmemiz buna günlük hayatımızdan bir örnektir. Pipetin içindeki havayı emmek, içindeki basıncı düşürür ve sıvının üzerinde bağül olarak fazla olan atmosfer basıncı, sıvıyı pipet boyunca yukarıya doğru iterek emilen havanın yerini almasını sağlar.



NO₂ gazı.

Basıncın SI Birimleri

Basıncı, bir gazın en kolay ölçülebilen özelliklerinden biridir. Bir gazın basıncının nasıl ölçüldüğünü anlamak için, ölçüm birimlerinin nasıl türetildiğini bilmek gerekir. Bunun için, önce hız ve ivme ile başlayalım.

Hız, birim zamanda alınan yoldur: yani,

$$\text{hız} = \frac{\text{alınan yol}}{\text{geçen zaman}}$$

Hızın SI birimi m/s'dir, ancak cm/s'de kullanılır.

İvme hızın zamanla değişimi olup aşağıda olduğu gibi ifade edilebilir:

$$\text{ivme} = \frac{\text{hızdaki değişim}}{\text{geçen zaman}}$$

İvme, m/s² (ya da cm/s²) olarak ölçülür.

Onyedinci yüzyılın sonlarına doğru Isaac Newton¹ tarafından formüllendirilen hareketin ikinci yasası, basınç biriminin türetildiği *kuvveti* tanımlar. Bu yasaya göre,

$$\text{kuvvet} = \text{kütle} \times \text{ivme}$$

Kuvvetin SI birimi, newton (N)'dir:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$$

Basıncı, birim alana uygulanan kuvvettir:

$$\text{basıncı} = \frac{\text{kuvvet}}{\text{alan}}$$

Basıncın SI birimi *paskal (Pa)*'dir¹ ve bir paskal, *bir newton/metre kare* olarak tanımlanır:

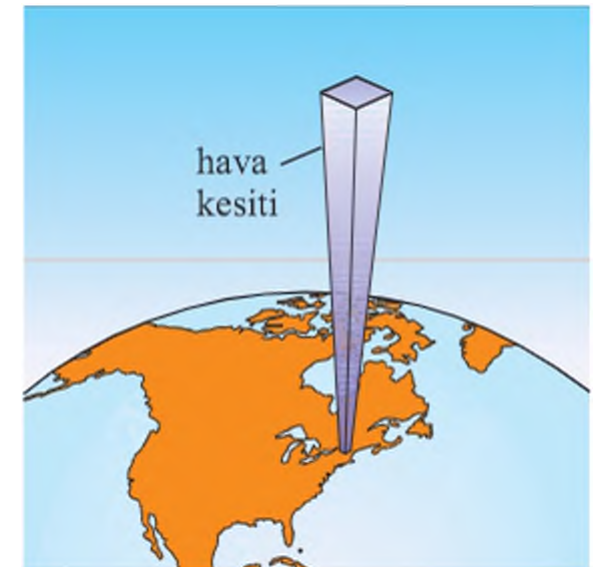
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Atmosfer Basıncı

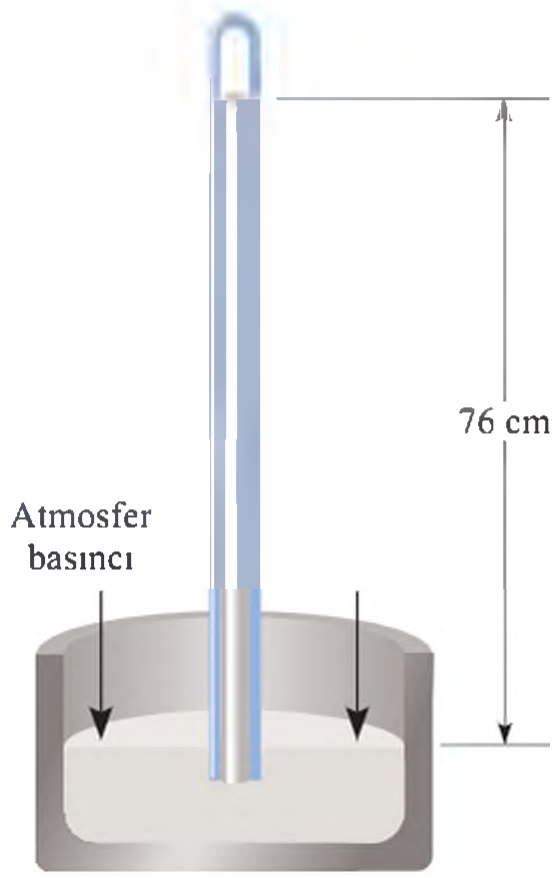
Atmosferdeki gazların atom ve molekülleri diğer tüm maddeler gibi. Dünyanın yer çekimini kuvvetinin etkisi altındadır. Bunun sonucu olarak atmosfer, yeryüzü yakınlarında yüksekliklere göre daha yoğundur. (9 km yükseklikteki bir uçağın basınç kabının dışındaki havanın yoğunluğu nefes almak için çok azdır.) Havanın yoğunluğu yeryüzeyinden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azalır. Yapılan çarşımlar, atmosferin yaklaşık %50 sinin yer yüzeyinden 6,4 km. %90'ının 16 km ve %99'ununda 32 km yüksekliğe kadar olan tabakalarda bulunduğunu göstermektedir. Hava yoğunluğu yeryüzüne doğru arttıkça, uygulayacağı basıncın da artması şaşırtıcı değildir. Yeryüzündeki herhangi bir alana uygulanan kuvvet, *üzerindeki hava kesitinin ağırlığına eşittir*. **Atmosfer basıncı, atmosferdeki gazlar tarafından uygulanan basınçtır** (Şekil 5.2). Atmosfer basıncının gerçek değeri, yerküredeki konumuna, sıcaklığa ve hava koşullarına bağlı olarak değişir.

¹Sir Isaac Newton (1642–1726) İngiliz matematikçi, fizikçi ve astronomudur. Newton çoğu kişi tarafından dünyadaki en büyük iki fizikçiden biri olarak bilinir (diğeri Albert Einstein'dır). Newton'un bilimsel bir katkısının olmadığı fizik dalı hemen hemen yok gibidir. 1687'de yayımlanan kitabı *Principia* bilim tarihinde bir mihenktaşı olmuştur.

¹Blaise Pascal (1623–1662) Fransız matematikçi ve fizikçisi. Pascal'ın çalışmaları matematik ve fizikte geniş bir alana yayılmasına rağmen, onun uzmanlık alanı hidrodinamiktir (akışkanların hareketini inceleyen alan). Pascal aynı zamanda bir hesap makinası da icad etmiştir.



Şekil 5.2 Deniz seviyesinden atmosferin yukarılarına doğru uzanan bir hava kesiti.



Şekil 5.3 Atmosfer basıncını ölçen barometre. Tüpdeki cıvanın üzerinde boşluk (vakum) vardır. Cıva sütunu atmosfer basıncı ile dengelemektedir.

Atmosfer basıncı sadece aşağı doğru mu etki eder? Eğer bir parça kâğıdı her iki elinizle, başınızın üzerinde gergin olarak tutarsanız ne olur, düşümlünüz. Kâğıt, üzerindeki hava basıncı etkisiyle kıvrılır mı? Hayır, bu olmaz. Nedeni ise, havanın su gibi bir akışkan olmasıdır. Akışkanların içindeki bir cisme uygulanan basınç gibi, atmosfer içindeki bir cisme uygulanan basınç da sağdan, soldan, aşağıdan ve yukarıdan, yani tüm yönlerden gelmektedir. Molekül düzeyinde düşümlünüzde, hava basıncı, hava moleküllerinin temas ettikleri herhangi bir yüzey arasındaki çarpışmalardan doğar. Basıncın büyüklüğü, moleküllerin yüzeye hangi sıklıkla ve hangi kuvvetle çarptıklarına bağlıdır. Kâğıda üzerinden çarpan moleküller olduğu kadar, altından çarpan moleküllerde vardır. Kâğıt bu nedenle düz kalır.

Atmosfer basıncı nasıl ölçülür? **Barometre** atmosfer basıncını ölçen bir düzeneştir. Basit bir barometre, bir ucu kapalı ve cıva ile doldurulmuş uzun bir cam tüpten ibarettir. Eğer bu tüp, içine hava girmeyecek şekilde bir cıva kabına dikkatlice ters çevrilip daldırılırsa, tüpteki bir miktar cıva, tüpün yukarısında bir boşluk bırakarak kaba akar (Şekil 5.3). Tüpte kalan cıvanın ağırlığı, kaptaki cıvanın yüzeyine etki eden atmosfer basıncı tarafından dengelenir. **Standart atmosfer basıncı (1 atm)**, deniz seviyesinde ve 0°C'da, tam olarak 760 mm (veya 76 cm) yükseklikte bir cıva sütununun basıncına eşittir. Diğer bir deyişle, standart atmosfer basıncı, 760 mmHg basıncına eşittir. mmHg birimi, barometreyi bulan İtalyan bilim adamı Evangelista Torricelli¹ anısına, *torr* olarak da adlandırılır. Buna göre,

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

ve

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 760 \text{ mmHg} \quad (\text{tam olarak}) \\ &= 760 \text{ torr} \end{aligned}$$

Atmosfer ve paskal arasındaki ilişki (Ek 2'ye bakınız) şöyledir:

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 101325 \text{ Pa} \\ &= 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ve 1000 Pa = 1 kPa (kilopaskal) olduğu için

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^2 \text{ kPa}$$

Örnek 5.1 ve 5.2, mmHg'dan atm ve kPa'a dönüşümü göstermektedir.

Örnek 5.1

Yüksek irtifada uçan bir jet uçağının dışındaki basınç, standart atmosfer basıncının oldukça altındadır. Bundan dolayı, kabin içindeki hava basıncı, yolcuları koruyacak şekilde ayarlanmıştır. Kabindeki barometrede okunan değer 688 mmHg ise, bu basıncın atmosfer cinsinden değeri nedir?

İzlenecek Yol 1 atm = 760 mmHg olduğundan, atmosfer basıncını hesaplamak için aşağıda verilen çevirme faktörüne gereksinim vardır:

$$\frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}$$

(Devamı)

¹ Evangelista Torricelli (1608–1674) İtalyan matematikçisi. Torricelli atmosfer basıncının varlığını farkedilen ilk kişi olarak kabul edilir.

Çözüm Kabin içindeki basınç şöyledir:

$$\begin{aligned}\text{basınç} &= 688 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} \\ &= 0,905 \text{ atm}\end{aligned}$$

Benzer problem: 5.13.

Alıştırma 749 mmHg'yi atmosfere dönüştürünüz.

Örnek 5.2

Belirli bir günde San Francisco'daki atmosfer basıncı 732 mmHg'dır. Bu basınç kPa cinsinden nedir?

İzlenecek Yol Burada bize mmHg biriminin kPa birimine çevirilmesi sorulmaktadır.

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

Bize gerekli olan dönüştürme faktörü şöyledir:

$$\frac{1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}}{760 \text{ mmHg}}$$

Çözüm kPa cinsinden basınç şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned}\text{basınç} &= 732 \text{ mmHg} \times \frac{1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}}{760 \text{ mmHg}} \\ &= 9,76 \times 10^4 \text{ Pa} \\ &= 97,6 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Benzer problem: 5.14.

Alıştırma 295 mmHg'yi kilopaskala dönüştürünüz.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda verilen basınçları küçükten büyüğe doğru sıralayınız: (a) 736 mmHg, (b) 0.928 atm, (c) 728 torr, (d) $1,12 \times 10^5 \text{ Pa}$.

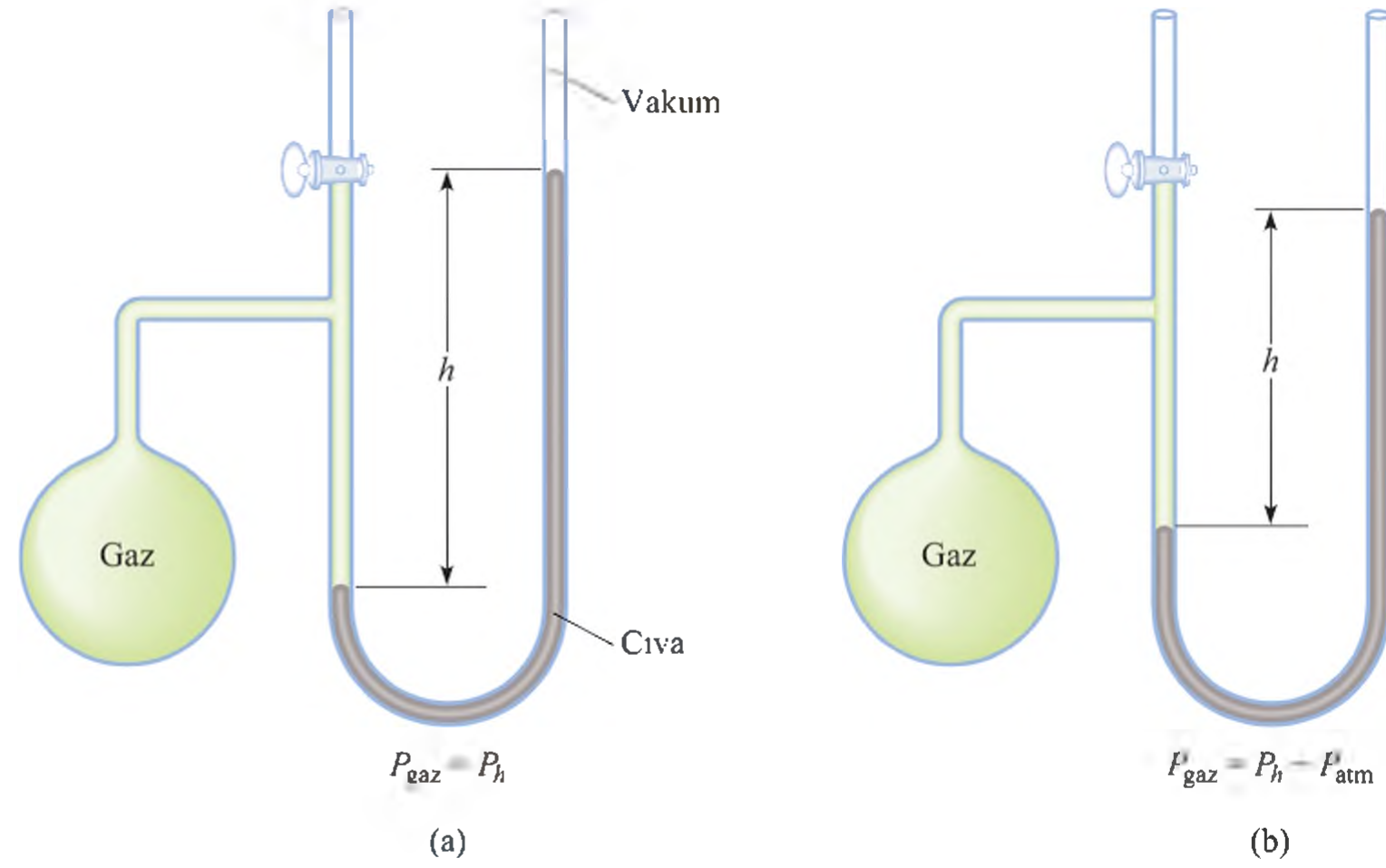
Manometre atmosfer basıncından çok, gazların basıncını ölçmek için kullanılan bir araçtır. Manometrenin çalışma prensibi barometreninkine oldukça benzerdir. Şekil 5.4'te gösterildiği gibi, iki tip manometre vardır. *Kapalı-tipli manometre*, atmosfer basıncının altındaki basınçları ölçmek için kullanılırken [Şekil 5.4(a)], *açık-tipli manometre* daha çok atmosfer basıncına eşit veya atmosfer basıncından büyük basınçları ölçmek için kullanılır [Şekil 5.4(b)].

Hemen hemen tüm barometre ve manometrelerde zehirli ve buharının sağlığa zararlı olmasına rağmen cıva kullanılır. Bunun nedeni, cıvanın yoğunluğunun (13,6 g/mL) pek çok sıvının yoğunluğundan yüksek olmasıdır. Bir sütundaki sıvının yüksekliği yoğunluğu ile ters orantılı olduğundan, cıvanın yüksek yoğunluğu sayesinde kullanışlı ve küçük barometre ya da manometrelerin yapılması mümkün olmuştur.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bir pipet ile su içmek Mt. Everest'in eteğinde mi yoksa zirvesinde mi daha kolaydır?

Şekil 5.4 Gaz basınçlarını ölçmek için kullanılan iki çeşit manometre. (a) Gaz basıncı atmosfer basıncından daha az ya da fazla olabilir. (b) Gaz basıncı atmosfer basıncından daha yüksektir.



5.3 Gaz Yasaları

Bu bölümde inceleyeceğimiz gaz yasaları, birkaç yüzyıl boyunca gazların fiziksel özellikleri üzerine gerçekleştirilen sayısız deneylerin sonucudur. Gazların makroskobik davranışı ile ilgili genellemelerin her biri, bilim tarihinde birer milenka taşı olmuştur. Gaz yasalarının hepsinin bir araya getirilmesi, kimyada pek çok yeni düşüncenin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

Animasyon
Gaz kanunları

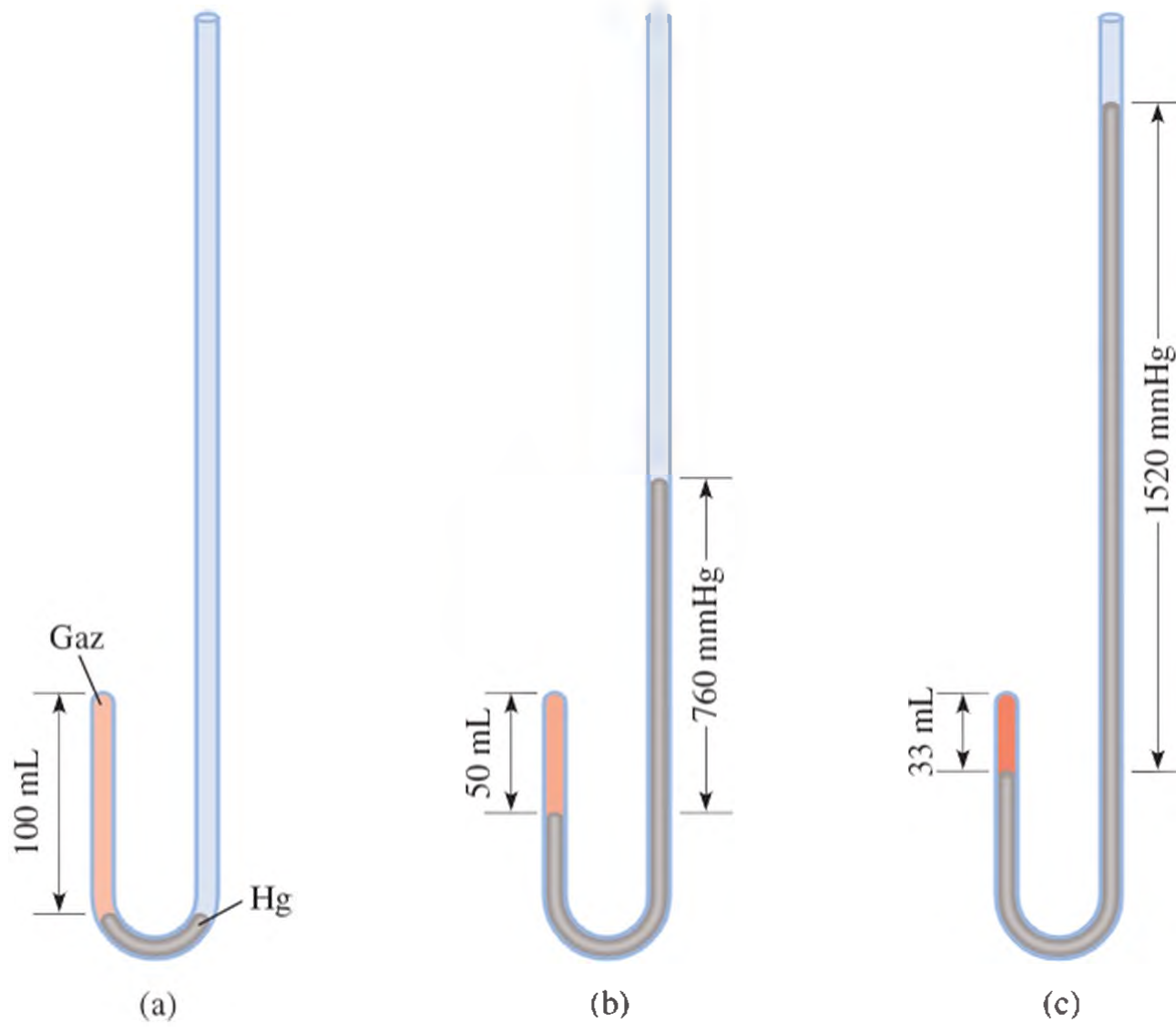
Basınç-Hacim İlişkisi: Boyle Yasası

Onyedinci yüzyılda, İngiliz kimyacı Robert Boyle gazların davranışını sistematik ve nicel yönleriyle incelemiştir. Boyle bir seri çalışmada bir gaz örneğinin basınç-hacim ilişkisini araştırmış ve elde ettiği tipik veriler Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Sabit sıcaklıkta belirli miktardaki bir gazın basıncı (P) artarken, hacminin (V) azaldığına dikkat ediniz. İlk veri noktası olan 724 mmHg basınç ve 1,50 hacim(keyfi birim) ile son veri noktası olan 2250 mmHg basınç ve 0,58 hacim karşılaştırıldığında, sabit sıcaklıkta bir gazın basıncı ile hacmi arasında ters bir bağıntı olduğu görülür. Yani, basınç artarken gazın işgal ettiği hacim azalır. Tersine, eğer uygulanan basınç azalır, gaz hacmi be kez büyür. *Sabit bir sıcaklıkta belirli bir gazın oluşturduğu basıncın, gazın hacmi ile ters orantılı olduğunu* bildiren bu bağıntı **Boyle yasası** olarak bilinir.

¹Robert Boyle (1627–1691) İngiliz kimyacı ve filozofu. Boyle kendi adını alan yasa ile tanınmasına karşın kimya ve fizik alanında pek çok önemli katkıları vardır. Çağdaşı pek çok bilim adamı ile ters düşmesine karşın *The Skeptical Chymist* (1661) adlı kitabı nesiller boyu kimyacıları etkilemiştir.

Çizelge 5.2 Boyle tarafından elde edilen tipik basınç-hacim ilişkisi

P (mmHg)	724	869	951	998	1230	1893	2250
V (keyfi)	1,50	1,33	1,22	1,18	0,94	0,61	0,58
PV	$1,09 \times 10^3$	$1,16 \times 10^3$	$1,16 \times 10^3$	$1,18 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$



Şekil 5.5 Gaz basıncı ile hacim ilişkisinin incelenmesi için düzenek. (a) Cıva seviyeleri eşittir ve gaz basıncı, atmosfer basıncına (760 mmHg) eşittir. Gaz hacmi 100 mL'dir. (b) Cıva eklenerek basıncın iki katına çıkarılması, hacmi 50 mL'ye düşürür. (c) Gaz basıncının üç kat artırılmasıyla, gazın hacmi başlangıçtaki üçte birine düşer. Gaz sıcaklığı ve miktarı sabit tutulmuştur.

Bu deneyde Boyle tarafından kullanılan çok basit düzenek görülmektedir (Şekil 5.5). Şekil 5.5 (a)'da gaz üzerine uygulanan basınç atmosfer basıncına eşit ve gazın hacmi 100 mL'dir (Tüpün ucu açık olduğundan atmosfer basıncına maruz kaldığına dikkat ediniz). Şekil 5.5 (b)'de gaz üzerine daha fazla cıva ilavesiyle uygulanan basınç iki kat artırıldığında, hacim 50 mL'ye düşmüştür. Gaz üzerine uygulanan basınç üç katına çıkarıldığında ise hacim original hacminin üçte birine düşmüştür [Şekil 5.5 (c)].

Basınç ve hacim arasındaki ters ilişkiyi gösteren matematiksel bir ifade yazabiliriz:

$$P \propto \frac{1}{V}$$

Burada \propto simgesi *orantılı* anlamına gelir. \propto simgesini eşittir işaretine değiştirmek için aşağıdaki gibi yazmalıyız.

$$P = k_1 \times \frac{1}{V} \quad (5.1a)$$

Burada k_1 orantı sabiti olarak adlandırılır. Eşitlik (5.1a) Boyle yasasının matematiksel ifadesidir. Eşitlik (5.1a) yeniden düzenlenirse

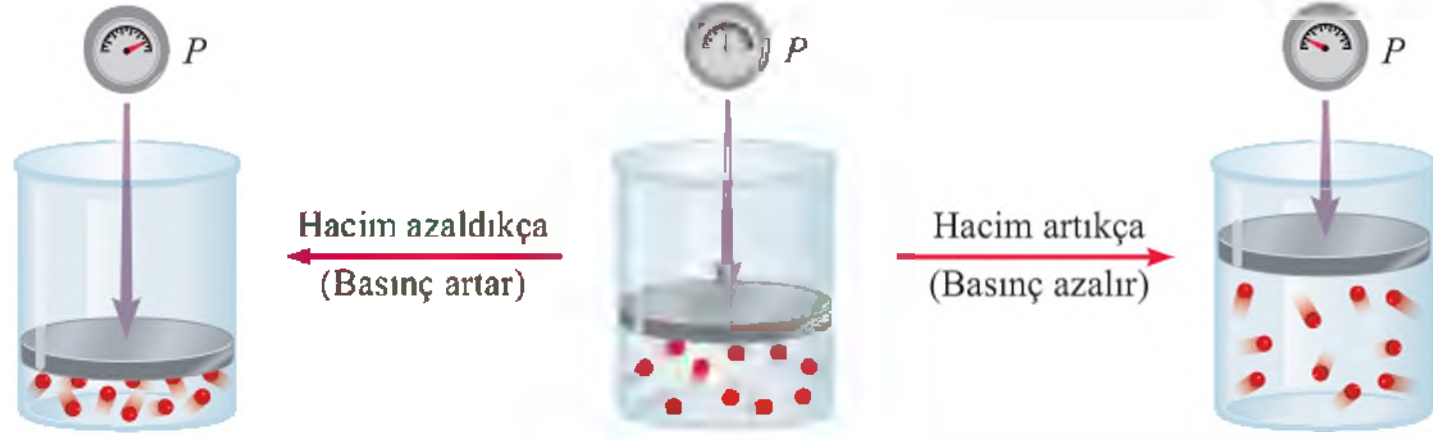
$$PV = k_1 \quad (5.1b)$$

eşitliğini elde ederiz. Boyle yasasının bu şekli, sabit sıcaklıkta, belirli miktarda bir gazın hacim ve basıncının çarpımının sabit olduğunu ifade eder. Şekil 5.6'da Boyle yasası şematik olarak gösterilmiştir. n , gazın mol sayısı ve R , Kesim 5.4'de tanımlanacak olan bir sabittir. Kesim 5.4'de, Eşitlik 5.1'deki orantı sabiti k_1 'in nRT 'ye eşit olduğunu göreceğiz.

Bir büyüklüğün diğerine orantılı olmasını ve orantı sabitinin kullanımını şöyle bir benzetme ile açıklayabiliriz. Bir sinemanın günlük geliri, hem biletlerin fiyatına (bilet

Gaza uygulanan basınç gaz basıncına eşittir.

Sabit sıcaklıkta gaz hacminin artması veya azalması

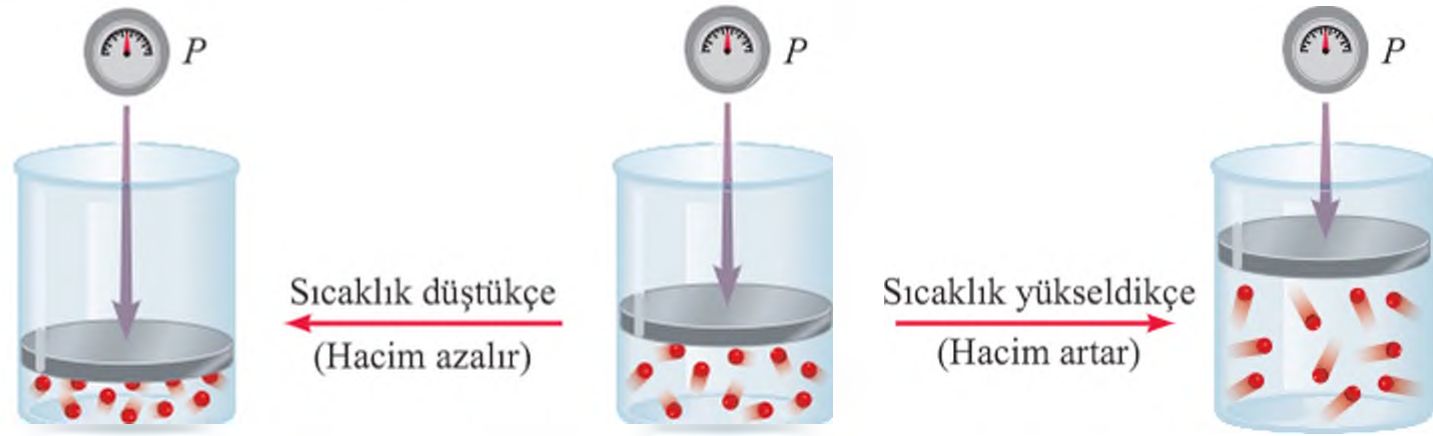


Boyle Yasası

Boyle yasası

$$P = (nRT) \frac{1}{V} \quad nRT \text{ sabit}$$

Sabit basınçta gazın ısıtılması veya soğutulması

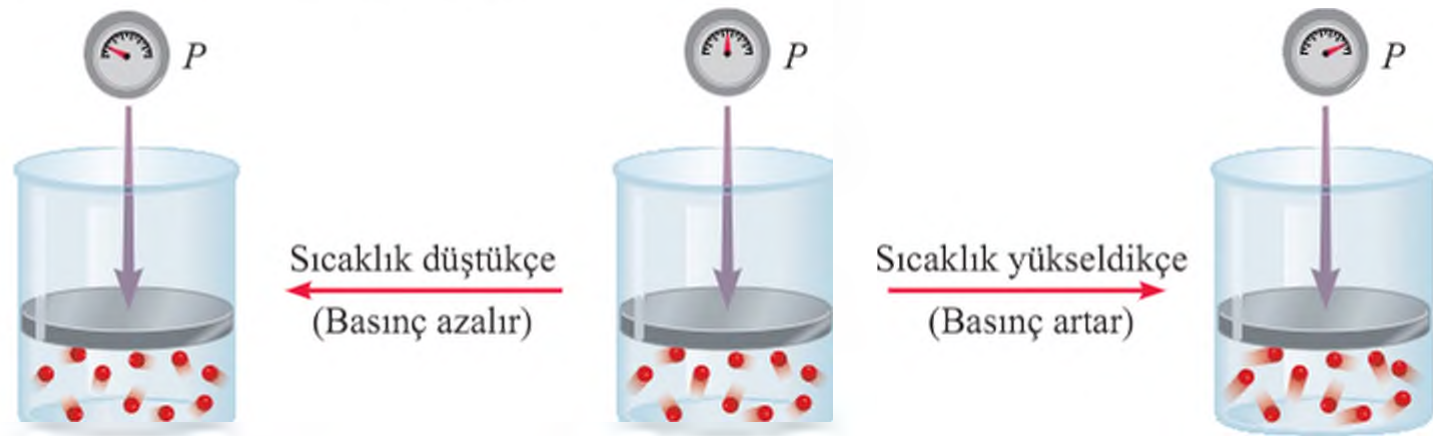


Charles Yasası

Charles Yasası

$$V = \left(\frac{nR}{P}\right) T \quad \frac{nR}{P} \text{ sabit}$$

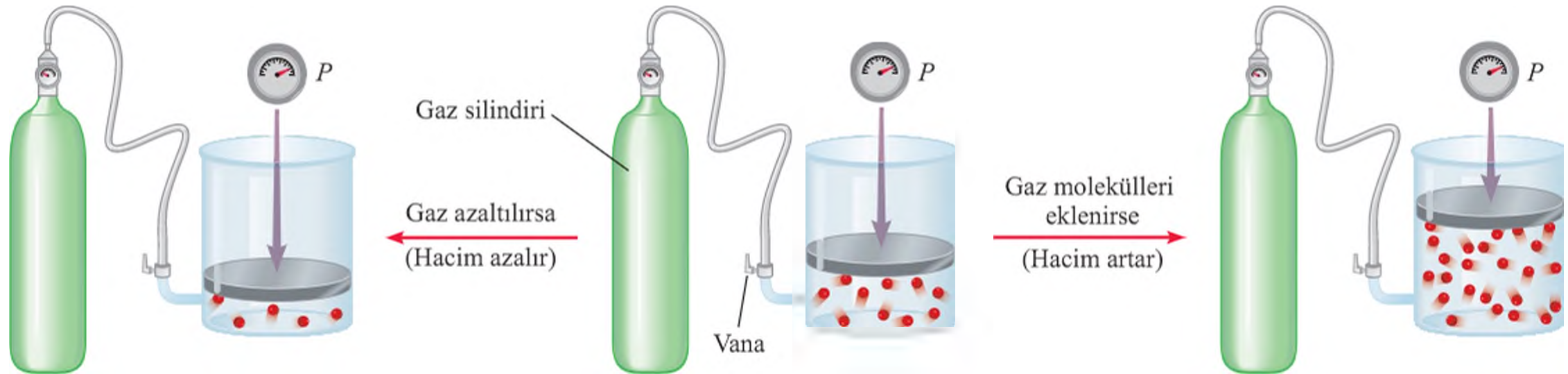
Sabit hacimde gazın ısıtılması veya soğutulması



Charles Yasası

$$P = \left(\frac{nR}{V}\right) T \quad \frac{nR}{V} \text{ sabit}$$

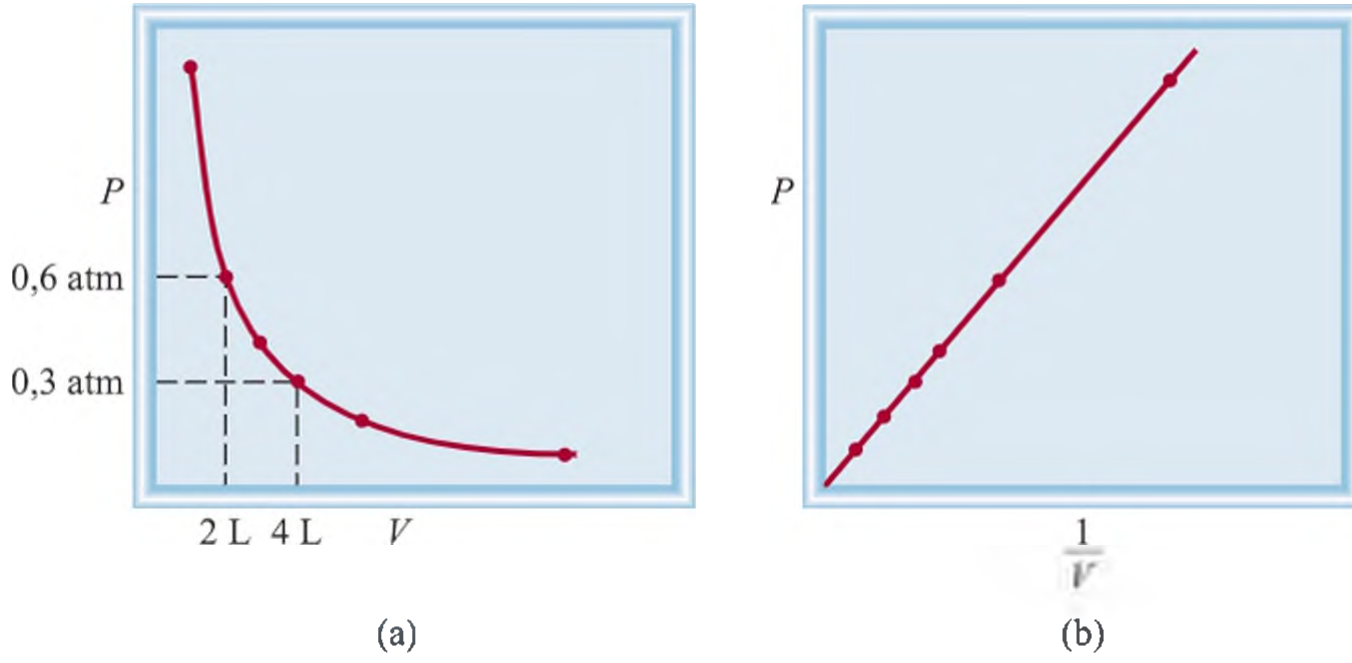
Sabit sıcaklık ve basınçta hacmin gaz miktarına bağlılığı



Avogadro Yasası

$$V = \left(\frac{RT}{P}\right) n \quad \frac{RT}{P} \text{ sabit}$$

Şekil 5.6 Boyle, Charles ve Avogadro yasalarının şematik gösterimi.



Şekil 5.7 Grafikler, sabit sıcaklıkta bir gaza uygulanan basınç ile gazın hacminin değişimini göstermektedir. (a) P'ye karşı V. Basınç yarıya indiğinde gazın hacminin iki katına çıktığına dikkat ediniz. (b) P'ye karşı 1/V. Grafiğin eğimi k₁'e eşittir.

başına TL olarak) hem de satılan bilet sayısına bağlıdır. Sinemanın tüm biletleri için elde edilen gelir:

$$\text{Gelir} = (\text{TL/bilet}) \times \text{satılan bilet sayısı}$$

Satılan bilet sayısı günden güne değiştiğinden, belli bir gündeki gelir için elde edilecek gelir satılan bilet sayısı ile orantılıdır denilebilir:

$$\begin{aligned} \text{Gelir} &\propto \text{satılan bilet sayısı} \\ &= C \times \text{satılan bilet sayısı} \end{aligned}$$

Burada C, orantı sabiti yani bilet başına fiyattır.

Şekil 5.7 Boyle yasasını çok kullanılan iki yolla göstermektedir. Şekil 5.7 (a), $PV = k_1$ eşitliğinin grafiğidir; Şekil 5.7 (b) ise $P = k_1 \times 1/V$ eşitliğine karşılık gelen grafiğidir. Son eşitliğin, $b = 0$ ve $m = k_1$ olduğunda, $y = mx + b$ doğru eşitliğine uyduğuna dikkat ediniz.

Verilen bir gaz örneği için, sıcaklık sabit ve gazın miktarı değişmediği sürece, basınç ve hacim değişmesine rağmen, P ile V'nin çarpımı her zaman sabit bir değere eşittir. Böylece, sabit sıcaklıkta iki farklı koşul için,

$$P_1V_1 = k_1 = P_2V_2$$

veya

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (5.2)$$

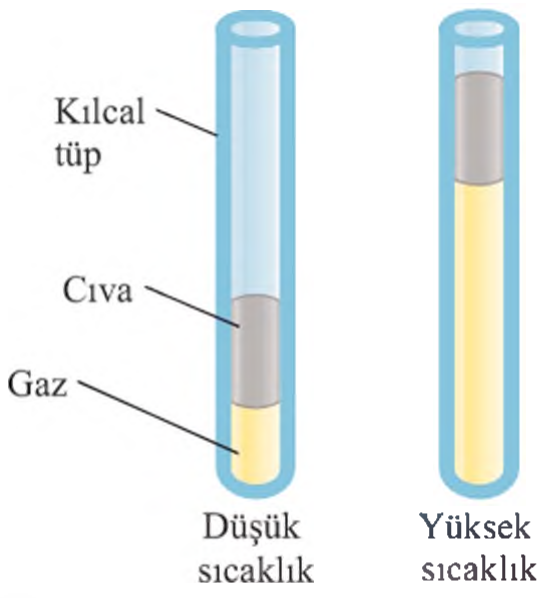
yazılabilir. V_1 ve V_2 değerleri P_1 ve P_2 , basınçlarındaki hacimlerdir.

Sıcaklık-Hacim İlişkisi: Charles ve Gay-Lussac Yasası

Boyle yasası sistemin sıcaklığının sabit kalmasına dayanır. Ancak sıcaklığın değiştiği düşünülürse, sıcaklıktaki değişim basınç ve hacme nasıl etki eder? Önce sıcaklığın hacme etkisini inceleyelim: Sıcaklık-hacim ilişkisini ilk olarak Fransız bilim insanları Jacques Charles¹ ve Joseph Gay-Lussac¹ incelemiştir. Yaptıkları çalışmalar, sabit basınçtaki gazların, ısıtıldıkça hacminin arttığını ve soğutuldukça azaldığını göstermiştir (Şekil 5.8). Gaz sıcaklığı ile hacimdeki değişimler beklentilere de uygundur.

¹Jacques Alexandre Cesar Charles (1746–1823). Fransız fizikçisi. Özel düzeneklerin mucidi ve balonu şişirmek için hidrojen kullanan ilk kişidir.

¹Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850). Fransız kimyacı ve fizikçisi. Charles gibi balon mucidi idi. Bir keresinde 20000 ft yüksekliğe, analiz için hava örneği almaya çıkmıştır.



Şekil 5.8 Sabit basınçta bir gazın hacminin sıcaklıkla değişimi. Gaza uygulanan basınç, atmosfer basıncı ve cıvanın ağırlığından kaynaklanan basıncın toplamıdır.

Bilim insanları, özel deney koşullarında, mutlak sıfır bir kelvinin kesri kadar çok yaklaşmışlardır.

Gaz yasası hesaplamalarında sıcaklığın kelvin olması gerektiğini unutmayınız

Örneğin, değişik sabit basınçlarda, sıcaklık-hacim ilişkisi incelendiğinde, hacme karşı sıcaklık grafiği bir doğru verir. Doğruyu sıfır hacme uzatarak, sıcaklık eksenini kesiği nokta $-273,15^{\circ}\text{C}$ olarak bulunur. Farklı bir basınçta, hacim-sıcaklık grafiğinden farklı bir doğru elde ederiz, fakat aynı sıfır-hacim sıcaklık kesim noktası ($-273,15^{\circ}\text{C}$) elde edilir (Şekil 5.9) (Pratikte, bir gazın hacmini sadece belirli bir sıcaklığın üzerinde ölçebiliriz, çünkü bütün gazlar düşük sıcaklıklarda sıvılarına dönüşümüne uğurlar.).

1848 yılında İskoç fizikçi Lord Kelvin¹ bu olayın önemini fark etmiştir. Kuramsal olarak ulaşılabilecek en düşük sıcaklık olan $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'yi **mutlak sıfır** olarak tanımlamıştır. Başlangıç noktası mutlak sıfır olan ve şimdi Kelvin sıcaklık eşeli olarak adlandırılan **mutlak sıcaklık eşelini** kurmuştur (Bölüm 1.7'ye bakınız). Kelvin eşelinde, bir kelvin (K) boyut olarak bir derece Celcius'a eşittir. Mutlak sıcaklık eşeli ile Celcius eşeli arasındaki tek fark, sıfır konumunun kaymasıdır. İki eşele göre bazı önemli noktalar aşağıda verilmiştir:

	Kelvin Eşeli	Celsius Eşeli
Mutlak sıfır	0 K	$-273,15^{\circ}\text{C}$
Suyun donma noktası	273.15 K	0°C
Suyun kaynama noktası	373.15 K	100°C

$^{\circ}\text{C}$ ve K arasındaki dönüşüm s.16'da verilmiştir. Bundan sonraki K ve $^{\circ}\text{C}$ ile ilgili hesaplamalarda 273,15 yerine yaklaşık kabul edeceğimiz 273 değerini kullanacağız. Mutlak (kelvin) sıcaklığı belirtmek için T , Celcius eşelinde sıcaklığı belirtmek için ise t kullanımı üzerinde uzlaşmış bir durumdur.

Bir gaz hacminin sıcaklığa bağlı olarak değişimi şöyle verilir:

$$V \propto T$$

$$V = k_2 T$$

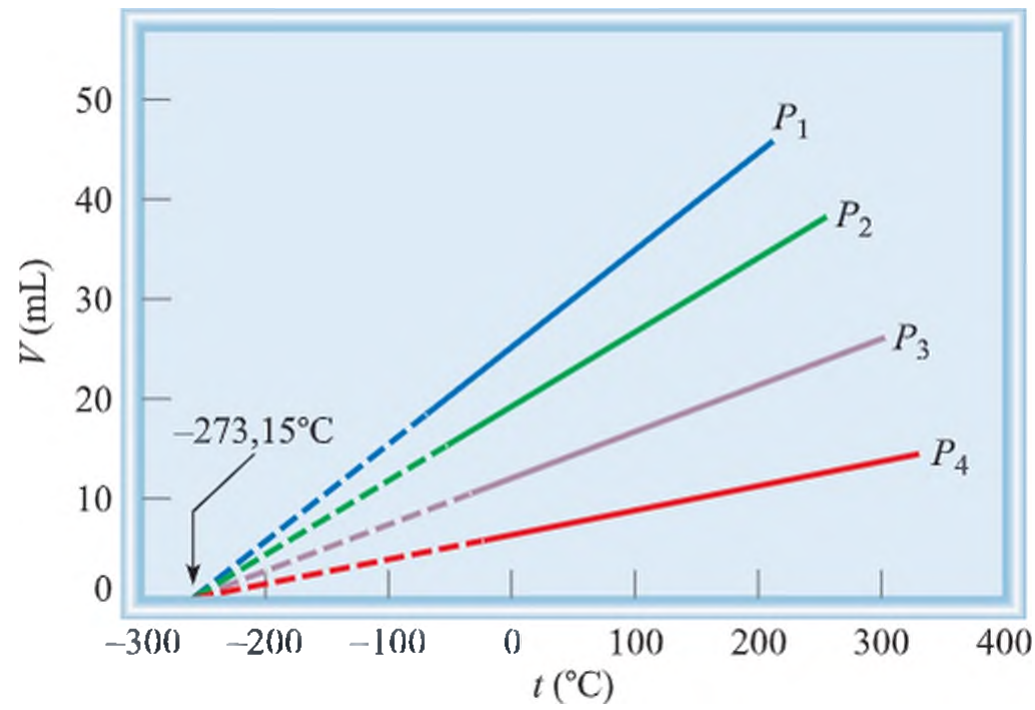
veya

$$\frac{V}{T} = k_2 \quad (5.3)$$

Burada k_2 , orantı sabitidir. Eşitlik (5.3), **Charles ve Gay-Lussac yasası** veya **Charles yasası** olarak bilinir. Bu yasaya göre, sabit basınçta, belirli bir miktar gazın hacmi, gazın mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Charles yasası Şekil 5.6'da da şematik

¹William Thomson, Lord Kelvin (1824–1907) İsveç matematikçisi ve fizikçisidir. Kelvin fiziğin hemen her dalında önemli buluş yapmıştır.

Şekil 5.9 Bir gazın sabit basınçta, hacminin sıcaklıkla değişimi. Her çizgi belirli bir sabit basınçtaki değişimi gösterir. Basınçlar, P_1 den P_4 'e artmaktadır. Bütün gazlar, yeterince düşük sıcaklıklara kadar soğutulursa, tamamen yoğunlaşırlar. Kesiksiz çizgiler, yoğunlaşma noktasının üzerindeki sıcaklık bölgelerini gösterir. Bu çizgiler uzatıldığında ya da ekstrapole edildiğinde (kesikli bölgeler), hepsi hacmin sıfır ve sıcaklığın $-273,15^{\circ}\text{C}$ olduğu noktada kesişirler.



olarak gösterilmiştir; Eşitlik (5.3)'teki orantı sabiti k_2 'nin nR/P 'ye eşit olduğu görülmektedir.

Sabit sıcaklıktaki basınç-hacim ilişkisinde olduğu gibi, sabit basınçtaki bir gaz örneğinin de iki farklı hacim-sıcaklık koşullarını karşılaştırabiliriz. Eşitlik (5.3)'ten şöyle yazabiliriz:

$$\frac{V_1}{T_1} = k_2 = \frac{V_2}{T_2}$$

veya

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (5.4)$$

yazabiliriz. Burada V_1 ve V_2 hacimleri T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki (kelvin) gazların hacimleridir.

Charles yasasının diğer bir şekli, sabit hacim ve miktardaki bir gazın basıncının, sıcaklıkla doğru orantı olduğunu gösterir:

$$P \propto T$$

$$P = k_3 T$$

veya

$$\frac{P}{T} = k_3 \quad (5.5)$$

Şekil 5.6'dan $k_3 = nR/V$ olduğu görülmüştür. Eşitlik (5.5)'ten başlayarak aşağıdaki eşitlikleri elde ederiz.

$$\frac{P_1}{T_1} = k_3 = \frac{P_2}{T_2}$$

veya

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (5.6)$$

Burada P_1 ve P_2 , gazın T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki basınçlarıdır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bir gazın sıcaklığı sabit basınçta (a) 200 K'den 400 K'e (b) 200 °C'den 400 °C'ye çıkarıldığında, hacimlerindeki değişimleri karşılaştırınız.

Hacim-Miktar İlişkisi: Avogadro Yasası

İtalyan bilim adamı Amedeo Avogadro'nun gazlarla ilgili çalışması, Boyle, Charles ve Gay-Lussac'ın çalışmalarını tamamlamıştır. Avogadro 1811'de aynı sıcaklık ve basınçta, farklı gazların eşit hacimlerinin aynı sayıda moleküller (eğer gaz tek atomluysa, atomlar) içerdiğini belirten bir hipotez yayınlamıştır. Buna göre herhangi bir gazın hacmi, mol sayıları ile orantılı olmalıdır; yani,

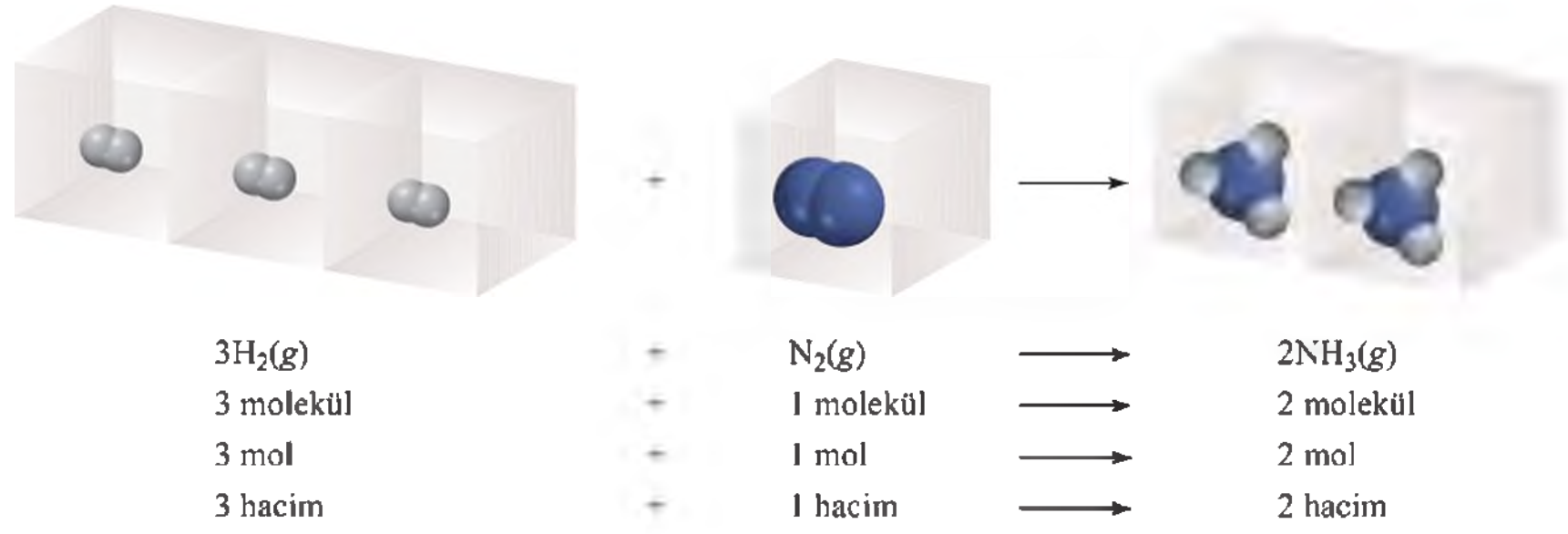
$$V \propto n$$

$$V = k_4 n \quad (5.7)$$

Burada n mol sayısı ve k_4 orantı sabitidir. Eşitlik (5.7), *Avogadro yasasının* matematiksel ifadesidir. Bu yasaya göre sabit basınç ve sıcaklıkta, bir gazın hacmi gazın mol

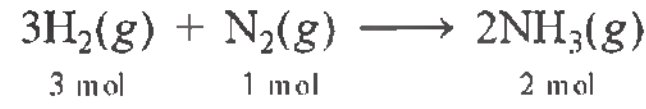
Avogadro isminden ilk olarak Kesim 3.2'de bahsedilmişti.

Şekil 5.10 Bir kimyasal tepkimede, gazların hacim ilişkisi. Hidrojen ve azot moleküllerinin hacim oranı 3:1'dir ve amonyakın (ürün), hidrojen ve azot molekülleri (tepkenler) toplamına oranı 2:4 ya da 1:2'dir.

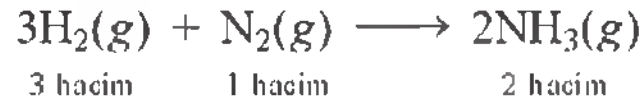


sayısı ile doğru orantılıdır. Şekil 5.6'dan görüldüğü gibi $k_4 = RT/P$ 'dir.

Avogadro yasasına göre, iki gaz tepkimeye girdiğinde, bu gazların hacimleri arasında basit bir oran vardır. Eğer ürün bir gaz ise, bu gazın hacmi ile tepkimeye giren gazların hacimleri arasında basit bir oran bulunur (daha önce Gay-Lussac tarafından gösterilmişti). Örneğin, hidrojen ve azot moleküllerinden amonyak sentezini ele alalım:



Aynı sıcaklık ve basınçta, gazların hacimleri, mol sayılarıyla doğru orantılı olduğundan,



yazılabilir. Hidrojen moleküllerinin hacim oranı 3:1'dir ve amonyakın (ürün), hidrojen ve azot molekülleri (tepkenler) toplamına oranı 2:4 ya da 1:2'dir (Şekil 5.10).

Gaz yasalarını gösteren örnekler Kesim 5.4'de verilmiştir.

5.4 İdeal Gaz Denklemi

Şu ana kadar gördüğümüz gaz yasalarını özetlersek:

Boyle yasası: $V \propto \frac{1}{P}$ (sabit n ve T de)

Charles yasası: $V \propto T$ (sabit n ve P de)

Avogadro yasası: $V \propto n$ (sabit P ve T de)

Gazların davranışını açıklayan tek bir eşitlik oluşturmak için, bu üç farklı eşitliği birleştirirsek:

$$V \propto \frac{nT}{P}$$

$$V = R \frac{nT}{P}$$

veya

$$PV = nRT \quad (5.8)$$

Unutmayınız ki, Kesim 5.3'de incelenen gaz yasalarının aksine, ideal gaz denklemi basınç, hacim, sıcaklık ve madde miktarının değişime uğramadığı sistemlere uygulanabilir.

Burada **R** *oranlı sabiti* olup **gaz sabiti** olarak adlandırılır. Eşitlik (5.8) *ideal gaz eşitliği* olarak bilinir ve dört değişken, (P , V , T ve n) arasındaki ilişkiyi verir. **İdeal gaz**,



Şekil 5.11 STP'de bir mol gaz hacminin (yaklaşık 22,4 L) bir basket topuyla karşılaştırılması.

hacim-basınç-sıcaklık ilişkisi tamamen ideal gaz eşitliğine uyan kuramsal bir gazdır. İdeal gazın molekülleri birbirini çekmez ve itmezler. Gaz taneciklerinin kendi öz hacimleri, kabın hacmi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Doğada tamamen ideal gaz olarak davranan herhangi bir gaz olmamasına rağmen, gerçek gazlar belirli bir sıcaklık ve basınç aralığında ideal gazlara yakın davranırlar. Bu nedenle, ideal gaz denklemini birçok gaz problemlerinin çözümünde rahatlıkla kullanabiliriz.

Gerçek gazlara ideal gaz eşitliğini uygulamadan önce, gaz sabiti R 'yi tanımlamalıyız. 0°C ($273,15\text{ K}$) ve 1 atm basınçta, gerçek gazların pek çoğu ideal gaz gibi davranır. Deneyler, bu koşullar altında, 1 mol ideal gazın $22,414\text{ L}$ hacim kapladığını göstermiştir. Bu hacim, Şekil 5.11'de gösterildiği gibi bir basket topunun hacminden biraz daha büyüktür. 0°C ve 1 atm basınç koşulları, **standart sıcaklık ve basınç** olarak bilinir ve çoğu kez **STP** şeklinde kısaltılır. Eşitlik (5.8)'den aşağıdakileri yazabiliriz.

$$\begin{aligned} R &= \frac{PV}{nT} \\ &= \frac{(1\text{ atm})(22,414\text{ L})}{(1\text{ mol})(273,15\text{ K})} \\ &= 0,082057 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \\ &= 0,082057 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{K} \cdot \text{mol} \end{aligned}$$

Gaz sabiti farklı birimlerde ifade edilebilir (bkz. ek 2).

L ve atm arasında veya K ve mol arasındaki noktalar L ve atm 'in her ikisinin pay'da, K ve mol 'ün her ikisinin paydada olduğunu hatırlatmak içindir. Çoğu hesaplamalarda, R 'nin değeri üç anlamlı rakamla verilir ($0,0821\text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol}$) ve STP'de 1 mol gazın hacmi $22,4\text{ L}$ olarak alınır.

Örnek 5.3 bir gazın sıcaklığı ve hacmi bilmiyorsa ideal gaz eşitliği kullanılarak gazın basıncının hesaplanabileceğini gösterir. Aksi belirtilmedikçe, hesaplamalarda $^\circ\text{C}$ olarak verilen sıcaklık, anlamlı rakamları etkilemesin diye, verildiği gibi tam olarak kullanılır.

Örnek 5.3

Kükürt hekzaflorür (SF_6) renksiz ve kokusuz bir gazdır. Tepkime verne yatkınlığının olmaması nedeniyle elektronik cihazlarda yalıtkan olarak kullanılır. $69,5^\circ\text{C}$ 'da hacmi $5,43\text{ L}$ olan çelik bir kap içinde $1,82\text{ mol}$ gaz tarafından uygulanan basıncı (atm) hesaplayınız.

(Devamı)



İzlenecek Yol Problemden gazın miktarı, hacmi ve sıcaklığı veriliyor. Gazın kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişiklik oluyor mu? Basıncı bulmak için hangi eşitliği kullanmalıyız? Hangi sıcaklık birimini kullanmalıyız?

Çözüm Gazın özelliklerinde herhangi bir değişim olmadığından basıncı hesaplamak için ideal gaz eşitliğini kullanabiliriz. Eşitlik 5.8'i yeniden düzenlersek:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

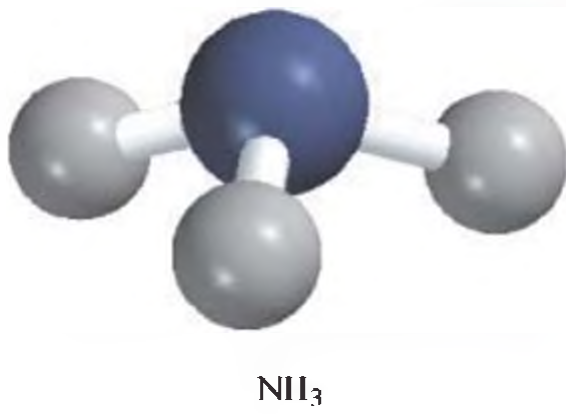
$$= \frac{(1.82 \text{ mol})(0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(69.5 + 273) \text{ K}}{5.43 \text{ L}}$$

$$= 9.42 \text{ atm}$$

Benzer problem: 5.32.

Alıştırma 2.12 mol azot monoksitinin (NO) 6.54 atm ve 76°C'de hacmini litre cinsinden hesaplayınız.

Bir gazın molar hacminin STP'de 22,41 L olduğu bilgisini kullanarak, ideal gaz eşitliğini kullanmadan, STP'de bir gazın hacmini hesaplayabiliriz.



Örnek 5.4

7,40 g NH₃'ün STP'deki hacmini litre olarak hesaplayınız.

İzlenecek Yol STP'de 1 mol ideal gazın hacmi nedir? 7,40g NH₃ kaç moldür?

Çözüm STP'de 1 mol ideal gazın hacmi olan 22,4 L'yi ve NH₃'ün mol kütlelerini (17,03 g) kullanarak, birim dönüştürme sıralamasını şu şekilde yazarız.

$$\text{gram NH}_3 \longrightarrow \text{mol NH}_3 \longrightarrow \text{STP de NH}_3 \text{ litresi}$$

Buna göre NH₃'ün hacmi şöyle bulunur:

$$V = 7,40 \text{ g NH}_3 \times \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17,03 \text{ g NH}_3} \times \frac{22,41 \text{ L}}{1 \text{ mol NH}_3}$$

$$= 9,74 \text{ L}$$

Kimyada problemler çoğu kez farklı yollardan gidilerek de çözülebilir. Bu problem, önce NH₃'ün 7,40 gramını mol sayısına çevirerek ve daha sonra ideal gaz eşitliğini kullanarak da çözülebilirdi. Bu yoluda deneyiniz.

Kontrol 7,40g NH₃, kendi mol kütlelerinden(17,03 g/mol) daha küçük olduğundan, STP'deki hacmi de 22,4 L'den daha az olmalıdır. Bundan dolayı, sonuç mantıklıdır.

Alıştırma 49,8 g HCl'nin STP'deki hacmi (L) nedir?

Kavramların Değerlendirilmesi

İdeal davrandıklarını varsayarsak, aşağıdaki gazlardan hangisi STP'de en büyük hacme ve yoğunluğa sahiptir? (a) 0,82 mol He (b) 24 g N₂ (c) $5,0 \times 10^{23}$ Cl₂ molekülü.

İdeal gaz eşitliği, bir gaz örneği için P , V , T ve n 'de değişim içermeyen problemlerin çözümünü içinde kullanışlıdır. Bunlardan üç değişkeni biliyorsak, eşitliği kullanarak dördüncüyü bulabiliriz. Bazen basınç, hacim sıcaklık ve hatta gazın miktarındaki değişikliklerle ilgileniriz. Koşullar değiştiğinde, ilk ve son koşullar dikkate alınarak değiştirilmiş ideal gaz eşitliğini kullanmanız gerekir. Eşitlik 5.8'den.

$$R = \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} \text{ (değişimden önce) ve } R = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \text{ (değişimden sonra)}$$

Buna göre,

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad (5.9)$$

Bölüm 5.3'de tartışılan bütün gaz yasalarının eşitlik 5.9'dan türetilabilir olması ilginçtir. Eğer $n_1 = n_2$ ise, ki genellikle gazın miktarı değişmez, eşitlik aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (5.10)$$

Eşitlik (5.9)'un uygulanması alıştırmaya 5.5, 5.6 ve 5.7'de gösterilmiştir.

Örnek 5.5

Deniz seviyesinde (1.0 atm) helyum ile şişirilmiş 0.55 L hacme sahip bir balon, basıncı 0.40 atm olan 6.5 km yüksekliğe çıkarılmıştır. Bu yükseklikte sıcaklığın sabit kaldığı varsayıldığında balonun son hacmi nedir?

İzlenecek Yol Balonun içindeki gaz miktarı ve sıcaklığı sabit kalır ancak basınç ve hacim değişir. Gereksinimi duyduğunuz gaz yasası nedir?

Çözüm Eşitlik (5.9) ile başlarız.

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

$n_1 = n_2$ ve $T_1 = T_2$, olduğundan,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Yukarıda elde edilen Boyle yasasıdır [Eşitlik (5.2)'ye bakınız]. Verilen bilgiler Çizelge haline getirilirse:

İlk Koşullar	Son Koşullar
$P_1 = 1.0 \text{ atm}$	$P_2 = 0.40 \text{ atm}$
$V_1 = 0.55$	$V_2 = ?$

Buna göre,

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \\ &= 0.55 \text{ L} \times \frac{1.0 \text{ atm}}{0.40 \text{ atm}} \\ &= 1.4 \text{ L} \end{aligned}$$

(Devamı)



Bilimsel bir araştırmada helyum balonu.



Elektrik ampulleri genellikle argon ile doldurulur.

Gaz yasası problemlerini çözerken °C birimini K'ye dönüştürmeyi unutmayınız.

Bu bağıntının bir uygulaması olarak, oto mobil lastiklerinin basıncı lastik normal sıcaklıkta olduğunda kontrol edilmelidir. Uzun bir yolculuk sonunda (özellikle yazın) lastikler oldukça ısınır ve içindeki basınç artar.

Berzer problem 5.36

Kontrol Sabit sıcaklıkta balona uygulanan basınç azalınca helyum gazı genişler ve balonun hacmi artar. Son hacim ilk hacimden daha büyüktür, bu yüzden cevap mantıklıdır.

Alıştırma Klor gaz örneği 726 mmHg basınçta 946 mL hacme sahiptir. Sabit sıcaklıkta hacim 154 mL ye düşürülürse gazın basıncı (mmHg) ne olur?

Örnek 5.6

Argon, ampuldeki tungstenin buharlaşmasını geciktirmek için ampul içinde kullanılan inert bir gazdır. 1.20 atm ve 18°C'da argon içeren bir ampul sabit hacimde 85°C'a ısıtıldığında son basıncı nedir?

İzlenecek Yol Argonun basıncı ve sıcaklığı değişir fakat hacmi ve miktarı değişmez. Son basıncı bulmak için kullanacağımız eşitlik nedir? Sıcaklık birimi nedir?

Çözüm $n_1 = n_2$ ve $V_1 = V_2$ olduğundan Eşitlik (5.9) aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Yukarıdaki eşitlik Charles yasasıdır [bak. Eşitlik (5.6)]. Bu durumu aşağıdaki şekilde yazabiliriz:

İlk Koşullar	Son Koşullar
$P_1 = 1.20 \text{ atm}$	$P_2 = ?$
$T_1 = (18 + 273) \text{ K} = 291 \text{ K}$	$T_2 = (85 + 273) \text{ K} = 358 \text{ K}$

Buna göre son basınç şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_1 \times \frac{T_2}{T_1} \\
 &= 1.20 \text{ atm} \times \frac{358 \text{ K}}{291 \text{ K}} \\
 &= 1.48 \text{ atm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Sabit hacimde gazın verilen miktarının basıncı mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır. Bu nedenle basınç artışı mantıklıdır.

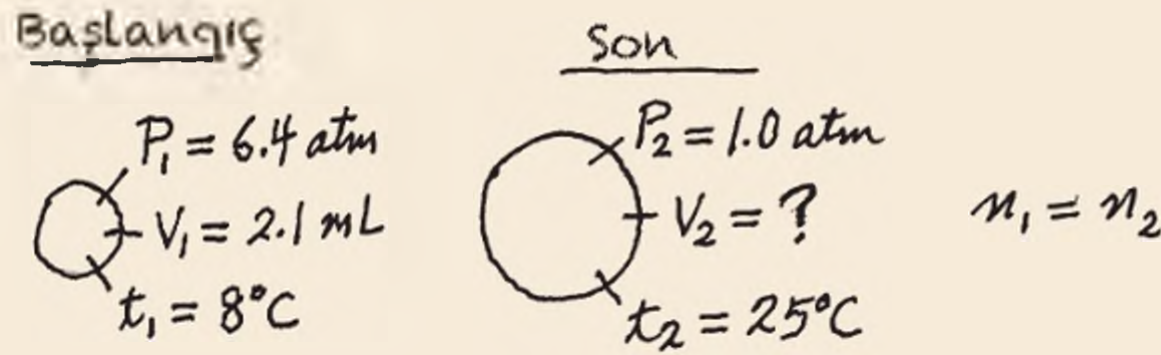
Alıştırma Başlangıçta 0.97 atm. basınçtaki oksijen gazı, sabit hacimde 21 °C'den, -68°C'ye soğutulursa son basıncı ne olur?

Örnek 5.7

Küçük bir hava kabarcığı, gölün dibinden su yüzeyine çıkmaktadır. Gölün dibinde sıcaklık 8°C ve basınç 6.4 atm'dir. Gölün yüzeyinde sıcaklık 25°C ve basınç 1.0 atm'dir. Kabarcığın ilk hacmi 2.1 mL ise, son hacmi kaç mL dir?

(Devamı)

İzlenecek Yol Birçok verinin verildiği bu tip problemleri çözerken, aşağıda gösterildiği gibi ilk ve son koşul taslağı hazırlamak yararlı olur:



Hesaplama yaparken hangi sıcaklık birimi kullanılmalıdır?

Çözüm Eşitlik (5.9)'a göre:

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

Kabarcığın içindeki hava miktarının sabit kaldığını varsayalım. Bu durumda, $n_1 = n_2$ 'dir ve

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Eşitlik (5.10) elde edilir. Verilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

İlk Koşullar	Son Koşullar
$P_1 = 6,4 \text{ atm}$	$P_2 = 1,0 \text{ atm}$
$V_1 = 2,1 \text{ mL}$	$V_2 = ?$
$T_1 = (8 + 273) \text{ K} = 281 \text{ K}$	$T_2 = (25 + 273) \text{ K} = 298 \text{ K}$

Eşitliğin iki tarafındada aynı olmak koşulu ile, hacim ve basınç için istediğimiz birimi kullanabiliriz

Eşitlik (5.10)'un yeniden düzenlenmesiyle

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} \\ &= 2,1 \text{ mL} \times \frac{6,4 \text{ atm}}{1,0 \text{ atm}} \times \frac{298 \text{ K}}{281 \text{ K}} \\ &= 14 \text{ mL} \end{aligned}$$

Kontrol Görüldüğü gibi son hacim, basınçların oranı (P_1/P_2) ve sıcaklıkların oranının (T_2/T_1) ilk hacim ile çarpımını içermektedir. Hacmin basınçla ters orantılı ve sıcaklıkla doğru orantılı olduğunu hatırlayalım. Kabarcık yükselirken basınç azaldığı ve sıcaklık arttığı için, kabarcığın hacminin artmasını bekleriz. Gerçekten, burada basınçtaki değişim hacim değişiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Alıştırma Başlangıçta 66°C ve $1,2 \text{ atm}$ 'de bir gazın hacmi $4,0 \text{ L}$ 'dir. Gaz, 42°C 'ye soğutulduğunda son hacmi $1,7 \text{ L}$ olmaktadır. Gazın son basıncı nedir? Mol sayısının değişmediğini kabul ediniz.

Yoğunluk Hesaplamaları

İdeal gaz eşitliği yeniden düzenlenirse bir gazın yoğunluğunu hesaplayabiliriz.

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

Gazın mol sayısı olan n şöyle yazılabilir:

$$n = \frac{m}{M}$$

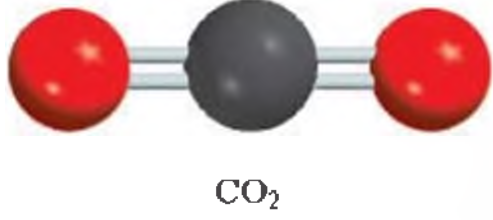
Burada m gram cinsinden gazın kütlesi ve M ise mol kütesidir. Buna göre:

$$\frac{m}{MV} = \frac{P}{RT}$$

Yoğunluk, d , birim hacimdeki kütle olduğundan yukarıdaki eşitliği şöyle yazabiliriz:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} \quad (5.11)$$

Yoğun halde bulunan madde moleküllerinin hacimleri (yani, sıvı ve katılar) ile gaz moleküllerinin hacimleri karşılaştırıldığında, gaz molekülleri oldukça büyük yer kaplar. Sonuç olarak gazların yoğunluğu atmosfer koşullarında çok düşüktür. Bu nedenle Örnek 5.8'de gösterildiği gibi, gaz yoğunlukları genellikle g/mL yerine g/L olarak ifade edilir.



Örnek 5.8

Karbondioksitin (CO₂) yoğunluğunu 0,990 atm ve 55°C'de g/L olarak hesaplayınız.

İzlenecek Yol Gaz yoğunluğunu hesaplamak için Eşitlik (5.11) kullanılabilir. Problemden verilen bilgiler yeterli midir? Hangi Sıcaklık birimi kullanılmalıdır?

Çözüm Eşitlik (5.11)'i kullanmak için sıcaklığı Kelvine dönüştürmeliyiz ($T = 273 + 55 = 328$ K) ve CO₂'in mol kütesi için 44,01 g'ı kullanmalıyız.

$$\begin{aligned} d &= \frac{PM}{RT} \\ &= \frac{(0.990 \text{ atm})(44.01 \text{ g/mol})}{(0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(328 \text{ K})} = 1.62 \text{ g/L} \end{aligned}$$

Seçenek olarak, doğrudan yoğunluğu kullanarak da çözebiliriz.

$$\text{yoğunluk} = \frac{\text{kütle}}{\text{hacim}}$$

Bir mol CO₂(44,01 g) gazını ele alarak, bu gazın hacmini ideal gaz denkleminde hesaplayabiliriz.

$$\begin{aligned} V &= \frac{nRT}{P} \\ &= \frac{(1 \text{ mol})(0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(328 \text{ K})}{0.990 \text{ atm}} \\ &= 27.2 \text{ L} \end{aligned}$$

Böylece CO₂'in yoğunluğu aşağıdaki gibi bulunur.

$$d = \frac{44.01 \text{ g}}{27.2 \text{ L}} = 1.62 \text{ g/L}$$

(Devamı)

Yorum Gazın yoğunluğu $1,62 \times 10^{-3}$ g/mL'dir. Suyun yoğunluğu (1,0 g/mL) ve altının yoğunluğu (19,3 g/cm³) ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür.

Alıştırma 779 mmHg ve 62°C'da uranyum hekzaflorür'ün (UF₆) yoğunluğu (g/L) nedir?

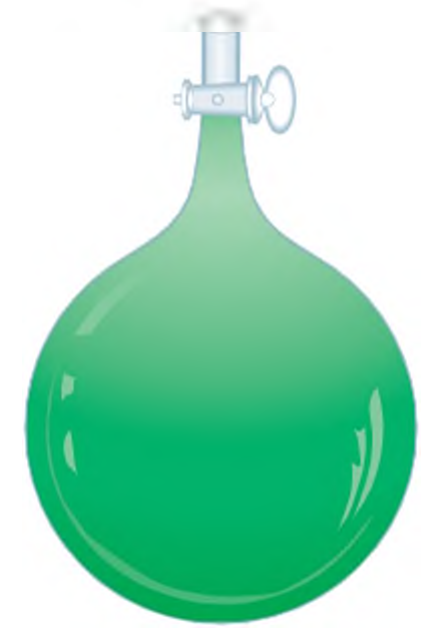
Gaz Halindeki bir Maddenin Molar Kütlesi

Şimdiye kadar gördüğümüz kadarıyla, bir maddenin mol kütlesi, formülü oluşturan atomların mol kütlelerinin toplanması ile bulunur. Ancak, bu hesaplamayı maddenin gerçek formülü bilinirse yapabiliriz. Gerçekte ise kimyacılar, genellikle ne olduğu bilinmeyen yada bileşimi kısmen bilinen maddelerle uğraşırlar. Eğer bilinmeyen bu madde gaz ise, mol kütlesi ideal gaz eşitliği yardımıyla bulunabilir. Bunun için gerekli olan, belirli bir sıcaklık ve basınçta, deneysel olarak belirlenen yoğunluk değeri veya kütle ve hacim değeridir. Eşitlik (5.11) yeniden düzenlenirse:

$$\mathcal{M} = \frac{dRT}{P} \quad (5.12)$$

Bir deneyde, hacmi bilinen bir balon, gaz halinde bir madde ile doldurulmaktadır. Gaz örneğinin sıcaklık ve basıncı kaydedilerek, balonun gaz ile birlikte toplam kütlesi belirlenmektedir (Şekil 5.12). Balon daha sonra boşaltılıp yeniden tartılmaktadır. Boş ve dolu balonlar arasındaki fark, gazın kütlesidir. Gazın yoğunluğu, kütlesinin balon hacmine bölümüne eşittir. Daha sonra, maddenin mol kütlesi Eşitlik (5.12) kullanılarak hesaplanabilir.

Kütle spektrometresi mol kütlenin belirlenmesi için kullanılan etkili bir cihazdır. Ancak, Örnek 5.9'da gösterildiği gibi, yoğunluk yöntemi ile mol kütlesi tayini de hala kullanılan uygun bir yöntemdir.



Şekil 5.12 Gaz yoğunluğunu ölçmek için kullanılan bir düzenek. Hacmi bilinen bir balon, belli bir sıcaklık ve basınçta gaz ile doldurulur, balon tartılır ve daha sonra boşaltılıp (vakum) yeniden tartılır. Kütleler arasındaki fark, gazın kütlesini verir. Balonun hacmi bilindiğinden, gazın yoğunluğu hesaplanabilir. Atmosfer koşulları altında, 100 mL hava (yaklaşık 0,12 g) kolaylıkla ölçülebilir miktardır.

Örnek 5.9

Bir kimyacı, klor ve oksijenden çıkarak yeşilimsi-sarı bir gaz elde etmiş ve yoğunluğunu 36°C ve 2,88 atm'de 7,71 g/L olarak bulmuştur. Bileşiğin mol kütlesini hesaplayınız ve molekül formülünü belirleyiniz.

İzlenecek Yol Eşitlik (5.11) ve (5.12), yeniden düzenlenerek birbirinden elde edilen eşitliklerdir. Eğer bir gazın yoğunluğunu, sıcaklığını ve basıncını biliyorsak, o gazın mol kütlesini hesaplayabiliriz. Bileşiğin molekül formülü, mol kütlesine uymalıdır. Peki, hangi sıcaklık birimini kullanmalıyız?

Çözüm Eşitlik (5.12)'den:

$$\begin{aligned} \mathcal{M} &= \frac{dRT}{P} \\ &= \frac{(7,71 \text{ g/L})(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(36 + 273) \text{ K}}{2,88 \text{ atm}} \\ &= 67,9 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

(Devamı)

Bu işlemi yaparak, bir bileşiğin mol kütlesini, kimyasal formülü bilmeden belirleyebiliriz.

ClO₂

Benzer problem: 5.43, 5.47.

Seçenek olarak mol kütleini aşağıda verildiği gibi bir başka yolla da bulabiliriz:

$$\text{bileşiğin mol kütlesi} = \frac{\text{bileşiğin kütlesi}}{\text{bileşiğin molü}}$$

Verilen yoğunluktan 1 L'de 7,71 g gaz olduğunu biliyoruz. İdeal gaz eşitliğinden bu hacimdeki gazın mol sayısını elde edebiliriz:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(2,88 \text{ atm})(1,00 \text{ L})}{(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{K} \cdot \text{mol})(309 \text{ K})} = 0,1135 \text{ mol}$$

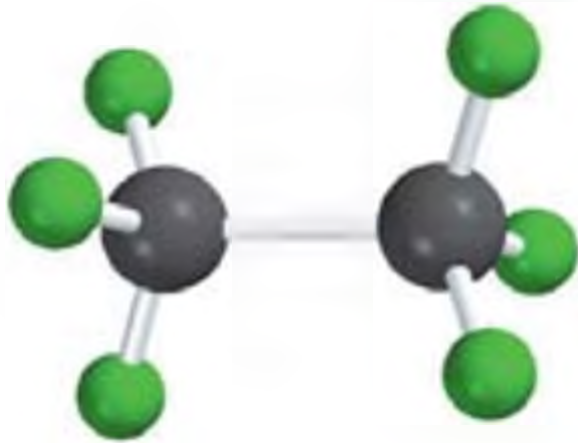
Buna göre mol kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M = \frac{\text{kütle}}{\text{mol sayısı}} = \frac{7,71 \text{ g}}{0,1135 \text{ mol}} = 67,9 \text{ g/mol}$$

Sadece klorun mol kütleini (35,45 g) ve oksijenin mol kütleini (16,00 g) kullanarak, deneme yanılma ile bileşiğin molekül formülünü belirleyebiliriz. Bir Cl atomu ve bir O atomu içeren bir bileşiğin mol kütlesi 51,45 g iken (bu değer 67,9 g/mol'den küçüktür), iki Cl atomu ve bir O atomundan oluşan bir bileşiğin mol kütlesi 86,90 g'dır (bu değer 67,9 g/mol'den büyüktür). Öyleyse, bileşik bir Cl atomu ve iki O atomu içermeli ve formülü, mol kütlesi 67,45 g olan ClO₂ olmalıdır.

Alıştırma 40°C ve 1,97 atm'de gaz halinde organik bir bileşiğin yoğunluğu 3,38 g/L'dir. Mol kütlesi nedir?

Eşitlik (5.12) ideal gaz eşitliğinden türetildiğine göre, Örnek 5.10'da göreceğimiz gibi, bir gazın mol kütleini doğrudan ideal gaz denklemi kullanarak da hesaplayabiliriz.

Si₂F₆

Örnek 5.10

Bir gaz bileşiğinin kimyasal analizinde kütlece % 33,0 silisyum (Si) ve % 67,0 flor (F) içerdiği gözlemlenmiştir. 35 °C'da bileşiğin 0,210 L'si 1,70 atm'lik bir basınç yapmıştır. Bileşiğin 0,210 L'sinin kütlesi 2,38 g ise, bileşiğin molekül formülünü hesaplayınız?

İzlenecek Yol Bu problem iki kısma ayrılabilir. İlk olarak, Si ve F'dan oluşan bileşiğin kaba formülünü hesaplamak için kütle yüzdeleri kullanılır. İkinci olarak da bileşiğin mol kütleini ve buradan da molekül formülünü hesaplamak için, verilen bilgiler kullanılır. Peki, kaba formül ile mol kütleinden bulunan molekül formülü arasındaki ilişki nedir?

Çözüm Bileşiğin 100 g olduğunu varsayarak, kaba formülü hesaplamak için Örnek 3.9'daki (s.86) işlemi uyguluyoruz. Buna göre yüzdeler grama dönüştürülüp Si ve F'un mol sayıları hesaplanabilir.

$$n_{\text{Si}} = 33,0 \text{ g Si} \times \frac{1 \text{ mol Si}}{28,09 \text{ g Si}} = 1,17 \text{ mol Si}$$

$$n_{\text{F}} = 67,0 \text{ g F} \times \frac{1 \text{ mol F}}{19,00 \text{ g F}} = 3,53 \text{ mol F}$$

(Devamı)

Böylece, kaba formül olarak $\text{Si}_{1,17}\text{F}_{3,53}$ veya 1,17'ye bölünmesi ile SiF_3 elde edilir.

Bileşiğin mol kütlelerini hesaplamak için öncelikle ideal gaz eşitliğinden bileşiğin 2,38 gramının mol sayısı hesaplanır.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1,70 \text{ atm})(0,210 \text{ L})}{(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{K} \cdot \text{mol})(308 \text{ K})} = 0,0141 \text{ mol}$$

Bileşiğin 0,0141 molü 2,38 g ise 1 molünün kütlesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$M = \frac{2,38 \text{ g}}{0,0141 \text{ mol}} = 169 \text{ g/mol}$$

Kaba formülü SiF_3 olan bileşiğin mol kütlesi 85,09 g'dır. Mol kütlesi / kaba formül mol kütlesi oranının daima bir tam sayı ($169/85,09 \approx 2$) olması gerektiğini hatırlatalım. Buna göre bileşiğin molekül formülü $(\text{SiF}_3)_2$ ya da Si_2F_6 olmalıdır.

Alıştırma Gaz halindeki bir bileşik % 78,14 bor ve % 21,86 hidrojen içermektedir. 27 °C'de 74,3 mL'lik gazın basıncı 1,12 atm'dir. Gazın kütlesi 0,0934 g ise molekül formülü nedir?

Benzer problem: 5.49

5.5 Gaz Stokiyometrisi

Bölüm 3'de, stokiyometri problemlerini çözmek için, tepken ve ürünlerin miktarları mol ve kütleleri arasındaki ilişkilerden yararlanmıştık. Tepkenler ve/veya ürünler gaz olduğunda, bu tür problemleri çözmek için, madde miktarları (mol, n) ve hacim (V) arasındaki ilişkiyi kullanabiliriz (Şekil 5.13). Örnek 5.11, 5.12, ve 5.13'de bu tür hesaplamalarda gaz yasalarının nasıl kullanıldığı gösterilmiştir.

Tepken ve ürünlerin fiziksel hallerine bakmaksızın, stokiyometri problemlerini çözmekteki anahtar nokta, mol oranlarını kullanmaktır.

Örnek 5.11

Aynı sıcaklık ve basınçta 7,64 L asetilenin (C_2H_2) tam yanması için gerekli O_2 'nin hacmini (L) hesaplayınız.



İzlenecek Yol O_2 ve C_2H_2 'nin aynı sıcaklık ve basınçta olduğunu unutmayınız. Gazların molü ile hacmini ilişkilendiren hangi gaz yasadır?

Çözüm Avogadro yasasına göre, aynı sıcaklık ve basınçta, gazların mol sayısı doğrudan hacimleri ile orantılıdır. Kimyasal eşitlikten 5 mol $\text{O}_2 \rightleftharpoons 2$ mol C_2H_2 yani 2 mol asetilene karşılık 5 mol oksijenin tepkimeye girdiği görülüyor. Bu nedenle, 5 L $\text{O}_2 \rightleftharpoons 2$ L C_2H_2 yazabiliriz. 7,64 L C_2H_2 ile tepkimeye giren O_2 hacmi aşağıda verilen işlemle hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ 'nin hacmi} &= 7,64 \text{ L } \cancel{\text{C}_2\text{H}_2} \times \frac{5 \text{ L } \text{O}_2}{2 \text{ L } \cancel{\text{C}_2\text{H}_2}} \\ &= 19,1 \text{ L} \end{aligned}$$

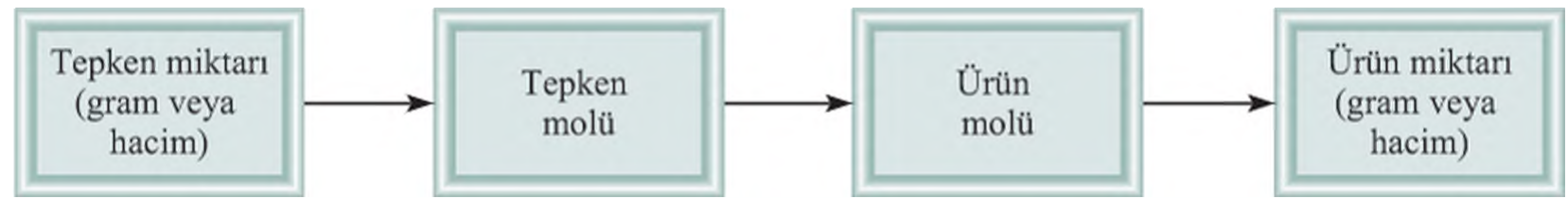
(Devamı)



Su ile kalsiyum karbürün (CaC_2) tepkimesinden yanıcı bir gaz olan asetilen (C_2H_2) gazı üretilir.

Benzer problem: 5.26.

Şekil 5.13 Gazlarda stokiyometrik hesaplamalar.



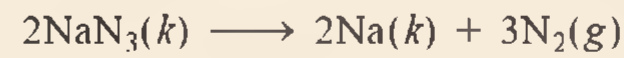
Alıştırma Sıcaklık ve basınçta herhangi bir değişiklik olmadığını varsayarsak, 14,9 L bütanın (C_4H_{10}) tam yanması için gerekli O_2 hacmini (L) hesaplayınız.



Hava yastığı sürücüyü çarpmalardan koruyabilir.

Örnek 5.12

Sodyum azür (NaN_3) bazı otomobillerin hava yastıklarında kullanılır. Çarpışmanın etkisi ile NaN_3 'in bozunma tepkimesi, aşağıdaki şekilde gerçekleşir:



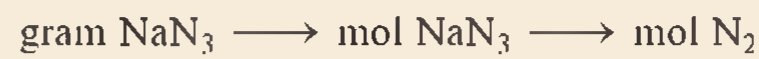
Çarpışma sırasında oluşan azot gazı, aniden sürücü ve kontrol panosu arasındaki yastığı şişirir. 60,0 g NaN_3 'in bozunması ile oluşan N_2 hacmini $80^\circ C$ ve 823 mmHg'de hesaplayınız.

İzlenecek Yol Denkleştirilmiş eşitlikte, 2 mol $NaN_3 = 3$ mol N_2 olduğu görülmektedir. Buna göre, NaN_3 ve N_2 arasındaki çevirme faktörü:

$$\frac{3 \text{ mol } N_2}{2 \text{ mol } NaN_3}$$

NaN_3 'nin mol kütlelerinden, mol sayısını ve dolayısıyla üretilen N_2 'nin mol sayısını hesaplayabiliriz. Son olarak, N_2 'nin hacmini ideal gaz eşitliğini kullanarak hesaplayabiliriz.

Çözüm Önce, 60,0 gram NaN_3 tarafından üretilen N_2 mol sayısını aşağıdaki dönüşüm serisini kullanarak hesaplayalım:



Buna göre:

$$\begin{aligned} \text{mol } N_2 &= 60,0 \text{ g } NaN_3 \times \frac{1 \text{ mol } NaN_3}{65,02 \text{ g } NaN_3} \times \frac{3 \text{ mol } N_2}{2 \text{ mol } NaN_3} \\ &= 1,38 \text{ mol } N_2 \end{aligned}$$

1,38 mol N_2 'nin hacmini ideal gaz eşitliği kullanarak bulalım.

$$\begin{aligned} V &= \frac{nRT}{P} = \frac{(1,38 \text{ mol})(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{K} \cdot \text{mol})(80 + 273 \text{ K})}{(823/760) \text{ atm}} \\ &= 36,9 \text{ L} \end{aligned}$$

Berzer problem: 5.62.

Alıştırma Glukozun ($C_6H_{12}O_6$) metabolik parçalanma denklemi, havada yanma denklemi ile aynıdır:



Tepkimede 5,60 g glukoz kullanıldığında $37^\circ C$ ve 1,00 atm'de üretilen CO_2 'in hacmini hesaplayınız.

Örnek 5.13

Metabolizmanın son ürünü olan karbon dioksit, sulu lityum hidroksit çözeltisi tarafından emildiği için uzay araçlarında ve denizaltılarda havanın temizlenmesinde kullanılır (aşağıdaki eşitlik).



Bir denizaltı kabının içindeki, hacmi $2,4 \times 10^5 \text{ L}$ olan karbon dioksitin basıncı 312 K 'de $7,9 \times 10^{-3} \text{ atm}$ 'dir. Kabine hacmi ihmal edilebilecek lityum hidroksit (LiOH) çözeltisi aktarılmakta ve bunun sonucunda karbon dioksitin (CO_2) basıncı $1,2 \times 10^{-4} \text{ atm}$ 'e düşmektedir. Bu işlem sonucunda kaç gram lityum karbonat oluşmuştur?

İzlenecek Yol Karbon dioksitin (CO_2) basıncındaki düşmeden tepkimeye giren karbon dioksitin molünü nasıl hesaplarız? İdeal gaz eşitliğinden şöyle yazabiliriz:

$$n = P \times \left(\frac{V}{RT} \right)$$

Sabit T ve V 'de, karbon dioksitin (CO_2) basıncındaki değişim, ΔP , karbon dioksitin mol sayısındaki değişime yani Δn 'ye karşılık gelir. Buna göre yukarıdaki eşitliği şöyle yazabiliriz:

$$\Delta n = \Delta P \times \left(\frac{V}{RT} \right)$$

Peki, CO_2 ve Li_2CO_3 arasındaki dönüşüm faktörü nedir?

Çözüm Karbon dioksit basıncındaki düşüş $(7,9 \times 10^{-3} \text{ atm}) - (1,2 \times 10^{-4} \text{ atm})$ yani $7,8 \times 10^{-3} \text{ atm}$ 'dir. Buna göre, tepkimeye giren CO_2 'in mol sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} \Delta n &= 7,8 \times 10^{-3} \text{ atm} \times \frac{2,4 \times 10^5 \text{ L}}{(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{K} \cdot \text{mol})(312 \text{ K})} \\ &= 73 \text{ mol} \end{aligned}$$

Kimyasal denkleme göre $1 \text{ mol CO}_2 \rightleftharpoons 1 \text{ mol Li}_2\text{CO}_3$ olduğundan, oluşan Li_2CO_3 mol miktarı da 73 mol 'dür. Daha sonra, Li_2CO_3 'ün mol kütlelerinden ($73,89 \text{ g/mol}$) miktarı hesaplanır:

$$\begin{aligned} \text{oluşan Li}_2\text{CO}_3 \text{ kütlesi} &= 73 \text{ mol Li}_2\text{CO}_3 \times \frac{73,89 \text{ g Li}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Li}_2\text{CO}_3} \\ &= 5,4 \times 10^3 \text{ g Li}_2\text{CO}_3 \end{aligned}$$

Alıştırma $2,61 \text{ atm}$ basınç ve 28°C sıcaklıkta $2,14 \text{ L}$ hidrojen klorür gazı (HCl), 668 mL suda hidroklorik asit çözeltisi oluşturmak üzere tamamen çözünmektedir. Asit çözeltisinin molaritesini hesaplayınız. Hacmin değişmediğini kabul ediniz.



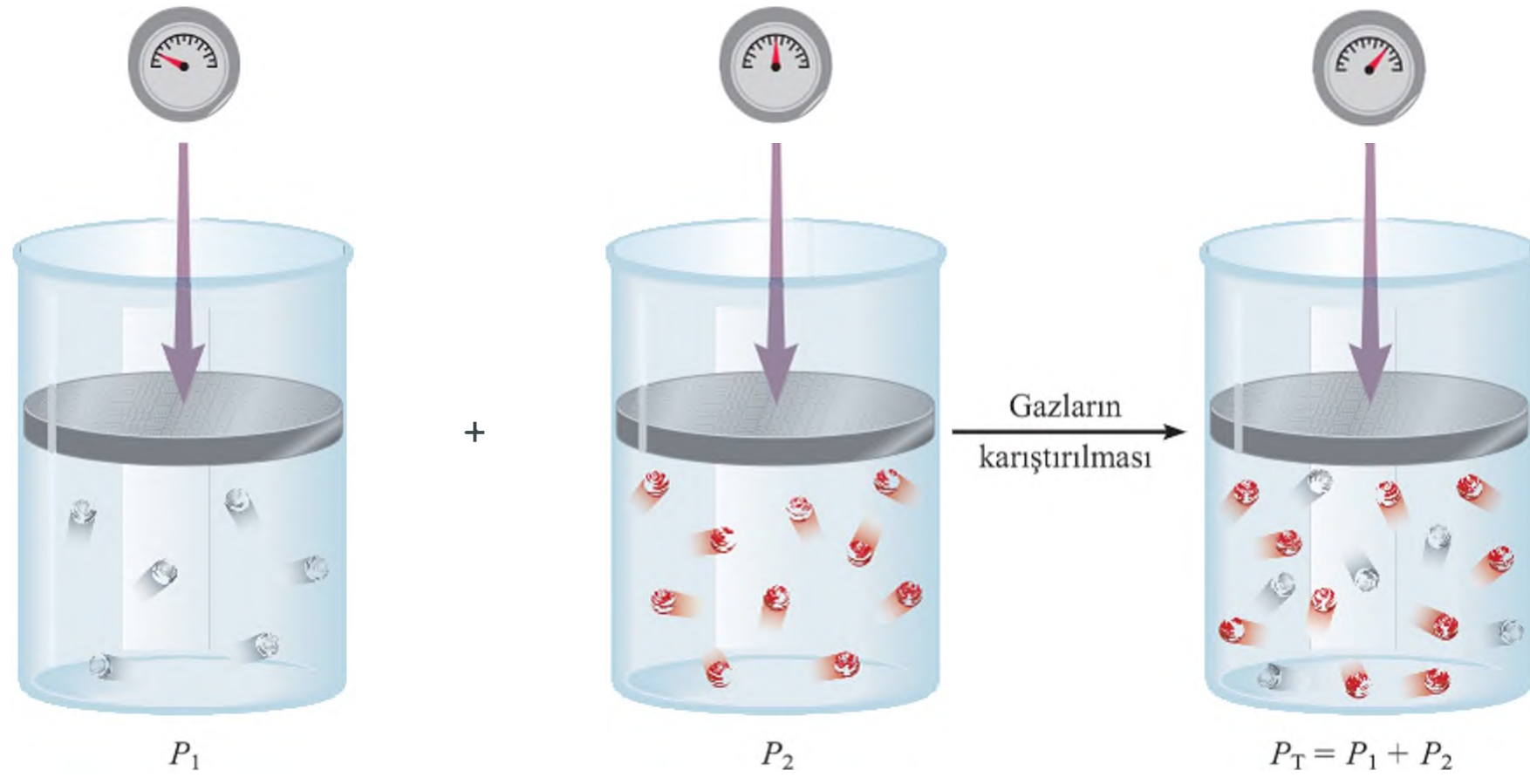
Denizaltı ve uzay araçlarında havanın sürekli artırılması gerekir.

Benzer problem: 5.100.

5.6 Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası

Buraya kadar, gaz halindeki saf maddelerin davranışları üzerinde durduk. Ancak deneysel çalışmalar genellikle gazların karışımını içerir. Örneğin, hava kirliliği çalışmalarında, birkaç farklı gazı içeren bir hava örneğinin basınç-hacim-sıcaklık ilişkisiyle ilgilenebiliriz. Bu durumda gaz karışımının toplam basıncı, *kısmi basınçlarla*, yani, *karışımındaki her bir gaz bileşeninin basınçları ile ilişkilidir*. 1801'de Dalton, bir

Hacim ve sıcaklık sabittir.



Şekil 5.14 Dalton'un kısmi basınçlar yasasının şematik gösterimi.

gaz karışımına ait toplam basıncın, karışımındaki her bir gazın kısmi basınçlarının toplamına eşit olduğunu belirten **Dalton'un kısmi basınçlar yasasını** ortaya koymuştur. Şekil 5.14, Dalton yasasını göstermektedir.

A ve B gibi iki gaz, V hacimli bir kapta bulunsun. A gazı tarafından uygulanan basınç, ideal gaz eşitliğine göre:

$$P_A = \frac{n_A RT}{V}$$

Burada n_A , A'nın mol sayısıdır. Benzer şekilde, B gazı tarafından uygulanan basınç şöyledir:

$$P_B = \frac{n_B RT}{V}$$

A ve B gazlarını karıştırdığımızda, A ve B moleküllerinin kabın çeperlerine çarpmasından kaynaklanan toplam basınç P_T 'dir. Böylece, Dalton yasasına göre:

$$\begin{aligned} P_T &= P_A + P_B \\ &= \frac{n_A RT}{V} + \frac{n_B RT}{V} \\ &= \frac{RT}{V} (n_A + n_B) \\ &= \frac{n RT}{V} \end{aligned}$$

Burada $n = n_A + n_B$, yani karışımındaki gazların toplam mol sayısı, P_A ve P_B sırasıyla A ve B gazlarının kısmi basınçlarıdır. Gaz karışımı için P_T , gaz moleküllerinin yapısına değil karışımındaki gazların toplam mol sayısına bağlıdır.

Genel olarak, gaz karışımlarının toplam basıncı şöyle verilir:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Burada P_1, P_2, P_3, \dots sembolleri; 1, 2, 3, ... bileşenlerinin kısmi basınçlarıdır. Herbir kısmi basıncın, toplam basınçla nasıl bir ilişkisi olduğunu görmek için, yine A ve B gazlarından oluşan bir karışımı gözönüne alalım. Eğer, P_A 'yı P_T 'ye bölersek:

$$\begin{aligned} \frac{P_A}{P_T} &= \frac{n_A RT/V}{(n_A + n_B) RT/V} \\ &= \frac{n_A}{n_A + n_B} \\ &= X_A \end{aligned}$$

elde ederiz ve burada X_A , A'nın mol kesridir. **Mol kesri**, gaz karışımındaki herhangi bir gazın mol sayısının, karışımındaki bütün gazların mol sayılarına oranıdır ve boyutsuzdur. Genel olarak, gaz karışımındaki bir "i" bileşeninin mol kesri şöyle verilir:

$$X_i = \frac{n_i}{n_T} \quad (5.13)$$

Burada, n_i ve n_T sırasıyla, i bileşeninin ve bileşenlerin toplam mol sayısını gösterir. Mol kesri daima 1'den küçüktür. Şimdi, A'nın kısmi basıncını şöyle ifade edebiliriz:

$$P_A = X_A P_T$$

Benzer şekilde, B'nin kısmi basıncını da aşağıdaki gibi yazılır:

$$P_B = X_B P_T$$

Gaz karışımında mol kesirlerinin toplamının bire eşit olması gerektiğine dikkat ediniz. Eğer sadece iki bileşen varsa bu durum şöyle ifade edilir:

$$X_A + X_B = \frac{n_A}{n_A + n_B} + \frac{n_B}{n_A + n_B} = 1$$

Eğer bir sistem ikiden fazla gaz içeriyorsa, i'nci bileşeninin kısmi basıncı, toplam basınca aşağıdaki eşitliğine göre bağlıdır.

$$P_i = X_i P_T \quad (5.14)$$

Kısmi basınçlar nasıl belirlenir? Manometre, sadece gaz karışımının toplam basıncını ölçebilir. Kısmi basınçları elde etmek için, dikkatli bir kimyasal analiz ile bileşenlerin mol kesirlerinin tespiti gerekir. Kısmi basınçları ölçmenin en kestirme yolu, bir kütle spektrometresi kullanmaktır. Kütle spektrumunda piklerin bağıl şiddetleri, karışımındaki gazların miktarları ile dolayısıyla mol kesirleriyle doğru orantılıdır.

Örnek 5.14'de gösterildiği, gibi mol kesirleri ve toplam basınçdan, her bir bileşenin kısmi basınçlarını hesaplayabiliriz. Dalton'un kısmi basınçlar yasasının doğru bir uygulaması olan tüplü dalış, sayfa 200'de "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasında tartışılmıştır.

Gaz karışımlarında, kısmi basınçların toplamı toplam basınca, mol kesirleri toplamı da 1'e eşit olmalıdır.

Genel olarak, gaz karışımlarının toplam basıncı şöyle verilir:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Burada P_1, P_2, P_3, \dots sembolleri; 1, 2, 3, ... bileşenlerinin kısmi basınçlarıdır. Herbir kısmi basıncın, toplam basınçla nasıl bir ilişkisi olduğunu görmek için, yine A ve B gazlarından oluşan bir karışımı gözönüne alalım. Eğer, P_A 'yı P_T 'ye bölersek:

$$\begin{aligned} \frac{P_A}{P_T} &= \frac{n_A RT/V}{(n_A + n_B) RT/V} \\ &= \frac{n_A}{n_A + n_B} \\ &= X_A \end{aligned}$$

elde ederiz ve burada X_A , A'nın mol kesridir. **Mol kesri**, gaz karışımındaki herhangi bir gazın mol sayısının, karışımındaki bütün gazların mol sayılarına oranıdır ve boyutsuzdur. Genel olarak, gaz karışımındaki bir "i" bileşeninin mol kesri şöyle verilir:

$$X_i = \frac{n_i}{n_T} \quad (5.13)$$

Burada, n_i ve n_T sırasıyla, i bileşeninin ve bileşenlerin toplam mol sayısını gösterir. Mol kesri daima 1'den küçüktür. Şimdi, A'nın kısmi basıncını şöyle ifade edebiliriz:

$$P_A = X_A P_T$$

Benzer şekilde, B'nin kısmi basıncını da aşağıdaki gibi yazılır:

$$P_B = X_B P_T$$

Gaz karışımında mol kesirlerinin toplamının bire eşit olması gerektiğine dikkat ediniz. Eğer sadece iki bileşen varsa bu durum şöyle ifade edilir:

$$X_A + X_B = \frac{n_A}{n_A + n_B} + \frac{n_B}{n_A + n_B} = 1$$

Eğer bir sistem ikiden fazla gaz içeriyorsa, i'inci bileşeninin kısmi basıncı, toplam basınca aşağıdaki eşitliğine göre bağlıdır.

$$P_i = X_i P_T \quad (5.14)$$

Kısmi basınçlar nasıl belirlenir? Manometre, sadece gaz karışımının toplam basıncını ölçebilir. Kısmi basınçları elde etmek için, dikkatli bir kimyasal analiz ile bileşenlerin mol kesirlerinin tespiti gerekir. Kısmi basınçları ölçmenin en kestirme yolu, bir kütle spektrometresi kullanmaktır. Kütle spektrumunda piklerin bağıl şiddetleri, karışımındaki gazların miktarları ile dolayısıyla mol kesirleriyle doğru orantılıdır.

Örnek 5.14'de gösterildiği, gibi mol kesirleri ve toplam basınçdan, her bir bileşenin kısmi basınçlarını hesaplayabiliriz. Dalton'un kısmi basınçlar yasasının doğru bir uygulaması olan tüplü dalış, sayfa 200'de "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasında tartışılmıştır.

Gaz karışımlarında, kısmi basınçların toplamı toplam basınca, mol kesirleri toplamı da 1'e eşit olmalıdır.

Örnek 5.14

Bir gaz karışımı 4,46 mol neon (Ne), 0,74 mol argon (Ar) ve 2,15 mol ksenon (Xe) içermektedir. Eğer toplam basınç 2,00 atm ise gazların belirli bir sıcaklıktaki kısmi basınçlarını hesaplayınız.

İzlenecek Yol Bir gazın kısmi basıncı ve toplam basıncı arasındaki bağıntı nedir? Bir gazın mol kesrini nasıl hesaplarız?

Çözüm Eşitlik (5.14)'e göre, Ne'nun kısmi basıncı (P_{Ne}) ; mol kesri (X_{Ne}) ile toplam basıncın (P_T) çarpımına eşittir.

$$P_{\text{Ne}} = X_{\text{Ne}} P_T$$

↑ hesaplanması istenen
 ↑ bulunması gereken
 ↑ verilen

Eşitlik (5.13)'ü kullanarak, Ne'un mol kesrini aşağıdaki gibi hesaplarız:

$$X_{\text{Ne}} = \frac{n_{\text{Ne}}}{n_{\text{Ne}} + n_{\text{Ar}} + n_{\text{Xe}}} = \frac{4,46 \text{ mol}}{4,46 \text{ mol} + 0,74 \text{ mol} + 2,15 \text{ mol}} = 0,607$$

Buradan Ne'un kısmi basıncı:

$$\begin{aligned} P_{\text{Ne}} &= X_{\text{Ne}} P_T \\ &= 0,607 \times 2,00 \text{ atm} \\ &= 1,21 \text{ atm} \end{aligned}$$

Benzer şekilde Ar'un kısmi basıncı:

$$\begin{aligned} P_{\text{Ar}} &= X_{\text{Ar}} P_T \\ &= 0,10 \times 2,00 \text{ atm} \\ &= 0,20 \text{ atm} \end{aligned}$$

Son olarak Xe'un kısmi basıncı:

$$\begin{aligned} P_{\text{Xe}} &= X_{\text{Xe}} P_T \\ &= 0,293 \times 2,00 \text{ atm} \\ &= 0,586 \text{ atm} \end{aligned}$$

Kontrol Kısmi basınçların toplamının, toplam basınca eşit olduğundan emin olmak için şu işlemi yapalım: $P_T = (1,21 + 0,20 + 0,586) \text{ atm} = 2,00 \text{ atm}$.

Alıştırma Bir doğal gaz örneği, 8,24 mol metan (CH_4), 0,421 mol etan (C_2H_6) ve 0,116 mol propan (C_3H_8) içermektedir. Gazların toplam basıncı 1,37 atm ise, gazların kısmi basınçları nedir?

Berzer problem: 5.67.

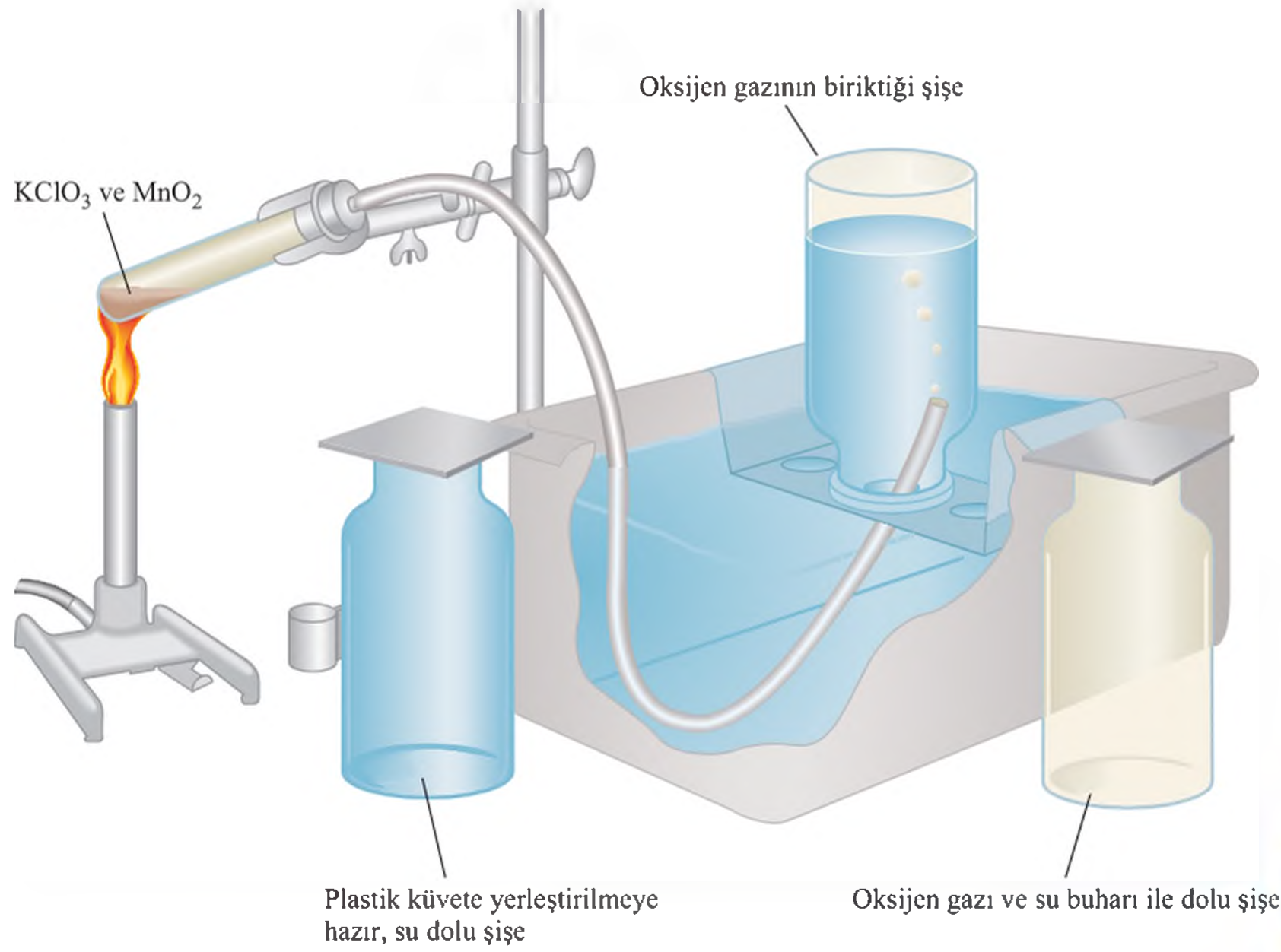
Animasyon
Su üzerinde bir gazın toplanması

Su üzerinde bir gaz toplandığında, toplam basınç (gaz basıncı + su buharı basıncı), atmosfer basıncına eşittir.

Dalton'un kısmi basınçlar yasası, su üzerinde toplanan gazların hacimlerini hesaplamak için de kullanılabilir. Örneğin, potasyum klorat (KClO_3) ısıtıldığı zaman, KCl ve O_2 'e ayrışır:



Oksijen, Şekil 5.15'te gösterildiği gibi, su üzerinde toplanabilir. Bu işlem için başlangıçta su ile tamamen doldurulmuş olan şişe ters çevrilir. Oksijen gazı üretildikçe, gaz kabarcıkları en üste yükselir ve şişedeki suyun yerini alır. Bu gaz toplama yöntemi,



Şekil 5.15 Su üzerinde gaz toplamak için kullanılan bir düzenek. Tepkimayı hızlandıran az miktarda mangan dioksit (MnO₂) varlığında, potasyum kloratın (KClO₃) ısıtılmasıyla üretilen oksijen, su içerisinde kabarcıklar halinde geçerek şekilde gösterildiği gibi şişe içerisinde toplanır. Başlangıçta şişede bulunan su, oksijen gazı tarafından aşağıya itilir.

gazın su ile tepkimeye girmedeği ve suda önemli derecede kabüllerine varsayımlarına dayanır. Bu kabüller oksijen gazı için zaten geçerlidir. Ancak suda kolayca çözülebilen NH₃ gibi gazlar için geçerli değildir. Bununla birlikte, bu yöntemle toplanan oksijen gazı saf değildir, çünkü şişede su buharı da vardır. Yani toplam gaz basıncı, oksijen gazının kısmi basıncı ile su buharı basıncının toplamına eşittir.

$$P_T = P_{O_2} + P_{H_2O}$$

Sonuçta, üretilen oksijen miktarı hesaplanırken, su buharının neden olduğu basıncı da bilmeliyiz. Bunun için, Çizelge 5.3'de çeşitli sıcaklıklarda suyun buhar basınçları verilmiştir. Bu veriler Şekil 5.16'da grafiğe geçirilmiştir.

Örnek 5.15, su üzerinde toplanan gaz miktarının hesaplanması için Dalton kanunun nasıl kullanıldığını göstermektedir.

Çizelge 5.3

Çeşitli Sıcaklıklarda Suyun Buhar Basıncı

Sıcaklık (°C)	Su Buharı Basıncı (mmHg)
0	4,58
5	6,54
10	9,21
15	12,79
20	17,54
25	23,76
30	31,82
35	42,18
40	55,32
45	71,88
50	92,51
55	118,04
60	149,38
65	187,54
70	233,7
75	289,1
80	355,1
85	433,6
90	525,76
95	633,90
100	760,00

Örnek 5.15

Potasyum kloratın bozunmasıyla üretilen oksijen Şekil 5.15'te gösterildiği gibi su üzerinde toplanmaktadır. 24°C ve 762 mmHg atmosfer basıncında toplanan oksijenin hacmi, 128 mL'dir. Elde edilen oksijen gazının kütleini (gram olarak) hesaplayınız. 24°C'de suyun buhar basıncı 22,4 mmHg'dır.

İzlenecek Yol Üretilen O₂'nin kütleini bulmak için, önce karışımdaki O₂'nin kısmi basıncını hesaplamalıyız. Hangi gaz yasasına ihtiyacımız vardır? O₂'nin basıncını O₂'nin kütleine gram olarak nasıl dönüştürebiliriz?

(Devamı)

KİMYA İş Başında

Dalgıçlık ve Gaz Yasaları

Scuba dalgıçlığı heyecan verici bir spor olup, bazı gaz yasalarının kullanımı sayesinde bireylerin sağlık ve eğitimleri için gerçekleştirdikleri güvenli bir faaliyettir. (“Scuba” bir kısaltmadır: “self-contained underwater breathing apparatus” yani “kendinden donanımlı su altı nefes alma düzeneği”). Bu popüler eğlence sporu için gaz yasalarının iki uygulaması şöyledir: bir daldışdan sonra yüzeye güvenli bir şekilde geri dönülmesi için kuralların geliştirilmesi ve bir daldış boyunca olası ölümcül bir durumu önlemek için uygun olan gaz karışımının belirlenmesi.

Tipik bir daldış 40–60 ft arasında olmalıdır, ancak 90 ft’lik daldışlarda vardır. Deniz suyu tatlı suya göre biraz daha yüksek yoğunluğa sahip olduğundan (deniz suyu 1.03 g/mL ve tatlı su 1.00 g/mL), 33 ft’lik bir deniz suyu sütunu tarafından uygulanan basınç, 1 atm’lik basınca eşdeğerdir. Basınç derinlik arttıkça arttığından, 66 ft derinlikteki su basıncı 2 atm olur ve bu böyle devam eder.

Bir dalgıç nefes almadan oldukça hızlı bir şekilde 20 ft derinlikten yüzeye çıkarsa ne olur? Bu derinlikteki değişim için basınçdaki toplam düşüş $(20 \text{ ft} / 33 \text{ ft}) \times 1 \text{ atm} = 0.6 \text{ atm}$ olacaktır. Dalgıç yüzeye ulaştığında, akciğerde sıkışan hava hacmi $(1 + 0.6) \text{ atm} / 1 \text{ atm} = 1.6$ kat artacaktır. Bu ani hava artışı akciğer zarlarına ölümcül hasar verebilir. Bir diğer ciddi olasılık *hava embolisinin* gelişmesine neden olmasıdır. Akciğerde hava genişleyince, bu hava kılcal damar adı verilen küçük kan damarlarının içini zorlar. Bu damarlar içindeki hava kabarcıklarının mevcudiyeti,

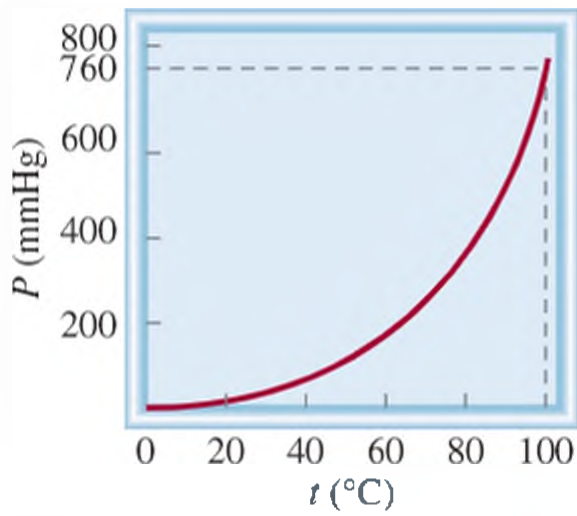
beyne normal kan akışını engelleyebilir. Sonuç olarak, dalgıç yüzeye ulaşmadan önce bilincini kaybedebilir. Bir hava embolisi için yapılabilecek tek çare yeniden basınca maruz bırakmaktır. Bu acı veren süreç için, kazazede basınçlı hava ile dolu bir basınç odasına yerleştirilir. Burada kandaki hava kabarcıkları zararsız seviyeye, saatler ve hatta günlerce süren bir süreçle yavaş yavaş indirilmeye çalışılır. Bu istenmeyen komplikasyonları önlemek için, dalgıçlar çıkış esnasında belli yüksekliklerde durarak ve yavaş yavaş yükselerek vücutlarındaki basınç azalmasını ayarlarlar.

İkinci örnek, Dalton yasasının doğrudan bir uygulamasıdır. Oksijen gazı hayatta kalmamız için hayati önem taşımaktadır. Ancak inanılması güç ama oksijenin aşırıya zararlı olabilir. Bununla birlikte, aşırı oksijen zehirlenmeside bilinmektedir. Örneğin oksijen çadırlarına yerleştirilen yeni doğan bebeklerde, retina dokusunun zarar görmesi sık gözlenen bir olay olup, kısmen veya tamamen körlükler de olabilmektedir.

Vücut fonksiyonlarımız, nefes aldığımız havadaki oksijenin kısmi basıncının 0.20 atm olduğu koşullarda en iyi çalışır. Oksijenin kısmi basıncı aşağıdaki gibi verilir:

$$P_{O_2} = X_{O_2} P_T = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{N_2}} P_T$$

Burada, P_T toplam basınçtır. Bununla birlikte, hacim mevcut gazın mol sayısı ile doğrudan orantılı olduğundan (sabit sıcaklık



Şekil 5.16 Su buharı basıncının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişimi. Suyun kaynama noktasında (100 °C), basıncın 760 mmHg yani tam 1 atm olduğuna dikkat ediniz.

Çözüm Dalton’un kısmi basınçlar yasasından:

$$P_T = P_{O_2} + P_{H_2O}$$

Buradan,

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= P_T - P_{H_2O} \\ &= 762 \text{ mmHg} - 22.4 \text{ mmHg} \\ &= 740 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

İdeal gaz eşitliğinden şöyle yazabiliriz:

$$PV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

(Devamı)

ve basınçta) aşağıdaki eşitliği yazabiliriz:

$$P_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{O_2} + V_{N_2}} P_T$$

Buna göre, havanın hacim olarak yüzde 20'sinin oksijen ve yüzde 80'ninin azot olduğunu söyleyebiliriz. Bir dalgıç dalış yaptığı zaman, dalgıç üzerindeki su basıncı atmosfer basıncından daha büyüktür. Vücut boşlukları (örneğin akciğerler, sinüsler) içindeki hava basıncı, vücudun etrafını çevreleyen suyun basıncı ile aynı olmalıdır. Aksi takdirde bu organlar çöker veya sıkışır. Dalgıç donanımındaki özel bir vana, scuba tankından teneffüs edilen hava basıncı ile su basıncının aynı kalmasını otomatik olarak sağlar. Örneğin, toplam basıncın 2,0 atm olduğu bir derinlikte, teneffüs edilen havadaki oksijen miktarı yüzde 10 oranında azaltılmalıdır ki 0,20 atm'lik kısmi basınç sabit tutulabilsin. Yani:

$$P_{O_2} = 0,20 \text{ atm} = \frac{V_{O_2}}{V_{O_2} + V_{N_2}} \times 2,0 \text{ atm}$$

$$\frac{V_{O_2}}{V_{O_2} + V_{N_2}} = \frac{0,20 \text{ atm}}{2,0 \text{ atm}} = 0,10 \text{ veya } \%10$$

Bu sabit basıncı sağlamak için, azot gazı oksijen gazı ile karıştırılabilecek en ideal gaz gibi görünmesine rağmen burada ciddi bir sorun vardır. Azot gazının kısmi basıncı 1 atm'i geçmesi durumunda kanda çözünüp *azot koması (nitrogen narcosis)* olarak bilinen bir duruma neden olur. Bu durum, dalgıç üzer-



Scuba Dalgıçları.

rinde alkol sarhoşluğuna benzer benzer bir hal oluşturur. Bu duruma maruz kalan dalgıçların garip hareketler yaptığı, deniz dibinde dans edip köpek balıkları ile şakalaştığı bilinmektedir. Bu nedenle, oksijen gazını seyreltmek için helyum gazı kullanılır. Bir soy gazı olan helyum, kanda çok daha az çözünür ve azotun oluşturduğu narkotik etki gözlenmez.

Burada m ve M sırasıyla toplanan O_2 'nin kütlesi ve mol kütlesidir. Eşitliği yeniden düzenlersek:

$$m = \frac{PV_M}{RT} = \frac{(740/760)\text{atm}(0,128 \text{ L})(32,00 \text{ g/mol})}{(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(273 + 24) \text{ K}}$$

$$= 0,164 \text{ g}$$

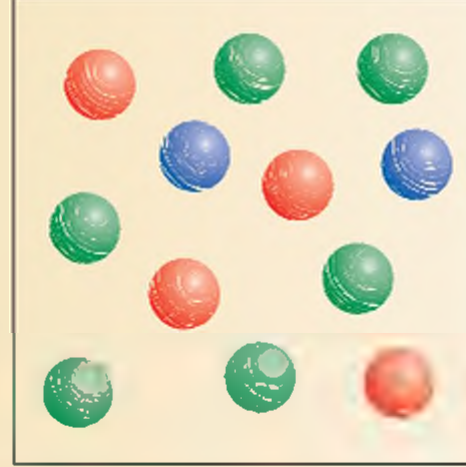
Kontrol Oksijen gazının yoğunluğu (0,164 g / 0,128 L) yani 1,28 g/L'dir. Bulunan bu değer atmosfer koşullarında gazlar için mantıklı bir değerdir. (bak. Örnek 5.8)

Alıştırma Kalsiyum metalinin su ile tepkimesinden oluşan hidrojen gazı Şekil 5.15'deki gibi su üzerinde toplanır. 988 mmHg basınç ve 30 °C'da toplanan gazın hacmi 641 mL'dir. Toplanan hidrojen gazının kütlesi (g olarak) nedir? 30 °C'da suyun buhar basıncı 31,82 mmHg'dır.

Benzer problem: 5.72.

Kavramların Değerlendirilmesi

Renkli kürelerin herbiri farklı bir gaz molekülünü temsil eder. Toplam basınç 2,6 atm ise gazların kısmi basınçlarını hesaplayınız.



5.7 Gazların Kinetik Molekül Kuramı

Gaz yasaları, gazların genel davranışlarını tahmin etmekte yardımcı olmasına rağmen, makroskopik olarak gözlenen değişimlerin molekül seviyesinde nasıl olduğunu açıklayamaz. Örneğin, ısıtılan gaz neden genleşir?

Ondokuzuncu yüzyılda bazı fizikçiler, özellikle Avusturyalı fizikçi Ludwig Boltzmann¹ ve İskoç fizikçi James Clerk Maxwell¹, gazların fiziksel özelliklerinin, moleküllerin bireysel hareketlerine bağlı olarak açıklanabileceğini öne sürmüşlerdir. Molekül hareketi iş yapabilme veya değişim üretebilme kapasitesi olarak tanımlanan *enerji* şeklindedir. Mekanikte, iş, kuvvetle uzaklığın çarpımı olarak tanımlanır. Enerji, iş olarak ölçülebildiği için şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \text{enerji} &= \text{yapılan iş} \\ &= \text{kuvvet} \times \text{yol} \end{aligned}$$

Joule (J)[§], enerjinin SI birimidir.

$$\begin{aligned} 1 \text{ J} &= 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \\ &= 1 \text{ N m} \end{aligned}$$

Enerji kilojoule (kJ) olarak da ifade edilebilir:

$$1 \text{ kJ} = 1000$$

Bölüm 6'da göreceğimiz gibi, farklı enerji türleri vardır. **Kinetik enerji (KE)**, hareketli cismin enerjisidir veya *hareket enerjisidir*.

Maxwell, Boltzmann ve diğer bilim insanlarının buluşları, **gazların kinetik molekül kuramı** veya *gazların kinetik kuramı* olarak bilinen, *gaz davranışları hakkında*

¹Ludwig Eduard Boltzmann (1844–1906) Avusturyalı fizikçi. Boltzmann tüm zamanların en büyük teorik fizikçisi olmasına rağmen, çalışmaları yaşarken diğer bilim adamları tarafından tanınmamıştır. Kötü sağlık koşulları ve büyük depresyon onu 1906'da ölüme götürmüştür.

¹James Clerk Maxwell (1831–1879) İskoçyalı fizikçidir. Maxwell, ondokuzuncu yüzyılın en büyük teorik fizikçilerindendir. Çalışmaları fizikte gazların kinetik teorisi, termodinamik, elektrik ve magnetizma gibi pek çok alanı kapsar.

[§]James Prescott Joule (1818–1889) İngiliz fizikçidir. Genç bir adamken, John Dalton tarafından özel olarak eğitilmiştir. Daha çok, ısınn mekanik eşdeğerinin belirlenmesi, mekanik enerji ve ısı enerji arasındaki dönüşümlerin belirlenmesi ile ilgili çalışmalarıyla meşhur olmuştur.

birçok genelleme ile sonuçlanmıştır. Kinetik kuramda temel kabuller şunlardır:

1. Bir gaz moleküllerden oluşur ve moleküller sahip oldukları boyutlardan çok daha büyük uzaklıklarla birbirlerinden ayrılmışlardır. Moleküller, “noktalar” olarak düşünülebilir; yani, kütleleri vardır ancak hacimleri ihmal edilebilir.
2. Gaz molekülleri, rastgele yönlerde hareket ederler ve birbirleriyle sık sık çarpışır. Moleküller arasındaki çarpışmalar tamamen esnekler. Diğer bir deyişle, çarpışma sonucu enerji bir molekülden diğerine taşınabilir. Bununla birlikte, sistemdeki bütün moleküllerin toplam enerjisi aynı kalır.
3. Gaz molekülleri, birbirlerine ne çekme, ne de itme kuvveti uygularlar.
4. Moleküllerin ortalama kinetik enerjisi, gazın kelvin sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Aynı sıcaklıkta bulunan iki gaz aynı ortalama kinetik enerjiye sahip olacaktır. Bir molekülün ortalama kinetik enerjisi

Gazların kinetik teorisi, molekülleri iç yapılarını dikkate almaksızın, sabit küreler gibi değerlendirir.

$$\overline{KE} = \frac{1}{2}m\overline{u^2}$$

ile verilir. Burada m , molekülün kütlesi, u hızıdır. Yatay çizgi, ortalama değeri gösterir. u^2 hız kareleri ortalaması olarak adlandırılır ve tüm moleküllerin hızlarının karelerinin ortalamasıdır:

$$\overline{u^2} = \frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2}{N}$$

Burada N , moleküllerin sayısıdır.

4. varsayım, aşağıdaki eşitliği yazabilmemizi sağlar:

$$\begin{aligned}\overline{KE} &\propto T \\ \frac{1}{2}m\overline{u^2} &\propto T\end{aligned}$$

Buna göre,

$$\overline{KE} = \frac{1}{2}m\overline{u^2} = CT \quad (5.15)$$

elde edilir. Burada C , orantı sabiti, T mutlak sıcaklıktır.

Gazların kinetik kuramına göre, bir gazın basıncı, gaz molekülleri arasındaki çarpışmaların ve moleküller ile kabın çeperleri arasındaki çarpışmaların bir sonucudur. Basıncı, birim alandaki çarpışma frekansına ve moleküllerin duvara ne kadar “sert” çarptığına bağlıdır. Kuram ayrıca, molekül sıcaklığının etkisini de açıklar. Eşitlik (5.15)’e göre, bir gazın mutlak sıcaklığı, moleküllerin ortalama kinetik enerjisinin bir ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, mutlak sıcaklık, moleküllerin rasgele hareketliliklerini de etkiler (daha yüksek sıcaklık, daha enerjili moleküller demektir). Bu hareket gaz örneğinin sıcaklığı ile ilişkili olduğundan, bazen rastgele molekül hareketi *ısı hareketi* olarak da ifade edilir.

Gaz Yasalarının Uygulanması

Gazların kinetik kuramı oldukça basit bir modele dayanmasına karşın, içerdiği matematiksel ayrıntılar çok karmaşıktır. Bununla birlikte, bu kuram gaz halindeki maddelerin genel özelliklerini nitel olarak açıklamakta kullanılabilir. Aşağıdaki örnekler, bu kullanımı aralığını göstermektedir.

- **Gazların Sıkıştırılabilirliği.** Gaz fazında, moleküller birbirinden büyük uzaklıklarla (varsayım 1) ayrıldıkları için, gazlar daha küçük bir hacme sıkıştırılabilirler.

- **Boyle Yasası.** Bir gazın basıncı, gaz moleküllerinin kabın çeperleriyle çarpışmasından ortaya çıkar. Çarpışma hızı ya da saniyede çeperlere çarpma sayısı, gazın yoğunluğu (yani, birim hacimdeki molekül sayısı) ile orantılıdır. Gazın hacmi azaldıkça, yoğunluğu ve bundan dolayı çarpışma hızı artar. Bu nedenle, bir gazın basıncı kapladığı hacimle ters orantılıdır; hacim azaldıkça basıncı artar veya basınç arttıkça hacim azalır.
- **Charles Yasası.** Gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi gazın mutlak sıcaklığı (varsayım 4) ile orantılı olduğundan, sıcaklık yükseldikçe ortalama kinetik enerji artar. Bu nedenle, eğer gaz ısıtılırsa moleküller kabın çeperlerine daha sık ve daha büyük bir etki ile çarpacak ve böylece basınç artacaktır. Gazın hacmi, gaz basıncı sabit dış basınçla dengeleninceye kadar genişleyecektir (Şekil 5.8).
- **Avogadro Yasası.** Bir gazın basıncının gazın hem yoğunluğu hem de sıcaklığı ile doğru orantılı olduğunu görmüştük. Gazın kütlesi, gazın mol sayısı (n) ile doğru orantılı olduğundan, yoğunluğu n/V ile gösterilebilir. Buna göre:

$$P \propto \frac{n}{V}T$$

İki ideal gaz için (1 ve 2) şöyle yazabiliriz:

$$P_1 \propto \frac{n_1 T_1}{V_1} = C \frac{n_1 T_1}{V_1}$$

$$P_2 \propto \frac{n_2 T_2}{V_2} = C \frac{n_2 T_2}{V_2}$$

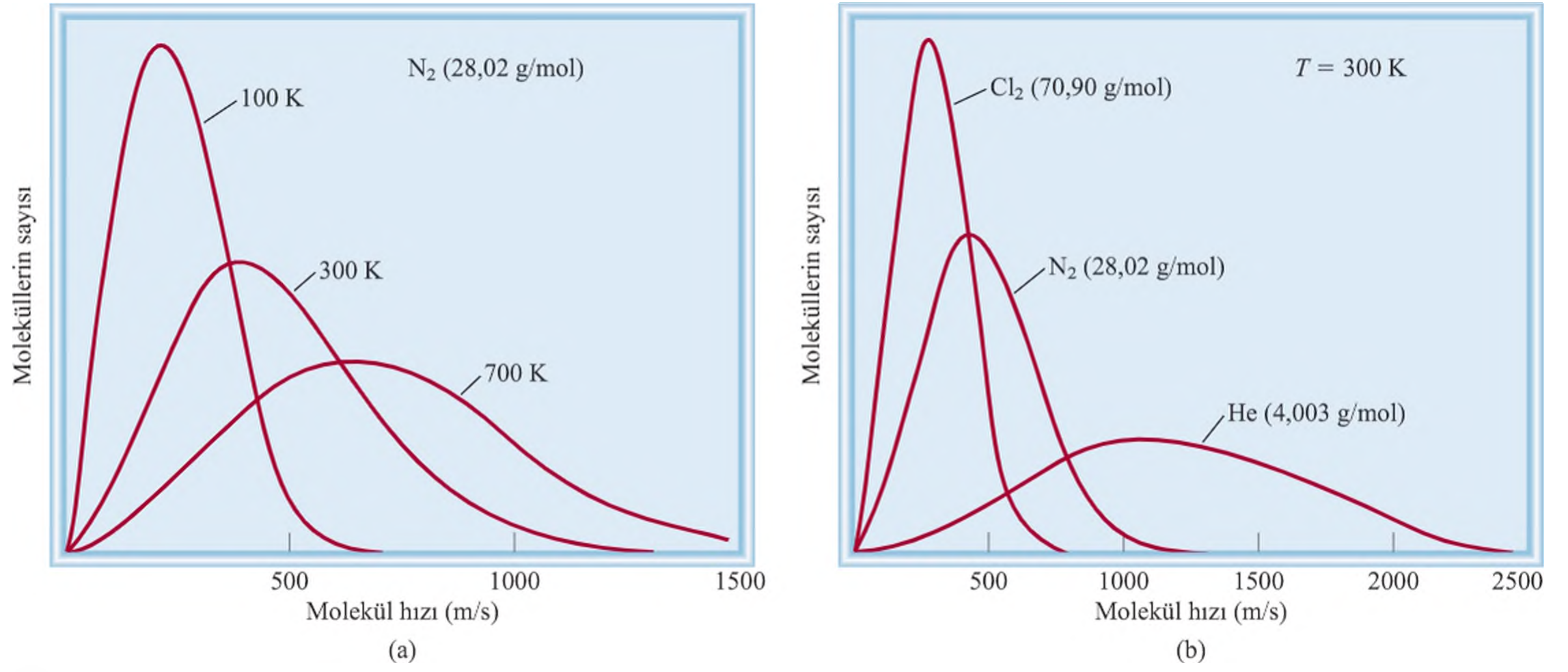
Burada C orantı sabitidir. İki gaz, aynı basınç, hacim ve sıcaklık koşullarında ise (yani, $P_1 = P_2$, $T_1 = T_2$ ve $V_1 = V_2$ olduğunda) $n_1 = n_2$ olur ve bu da Avogadro yasasının matematiksel ifadesidir.

- **Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası.** Eğer moleküller birbirlerini çekmez veya itmezse (varsayım 3), herhangi bir molekül tarafından uygulanan basınç diğerinin varlığından etkilenmez. Sonuçta, toplam basınç, her bir gazın kısmi basınçları toplamıdır.

Molekül Hızlarının Dağılımı

Gazların kinetik kuramı, moleküler hareketi daha ayrıntılı inceleme imkânı sağlar. Bir kapta çok fazla sayıda gaz molekülü, örneğin 1 mol gaz molekülü olduğunu kabul edelim. Sıcaklık sabit tutulduğu sürece, gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri ve hız kareleri ortalaması zamanla sabit kalacaktır. Bildiğiniz gibi, moleküllerin hareketleri tamamen gelişigizel ve önceden öngörülemeyen bir şekildedir. Belli bir anda, kaç molekül belli bir hızda hareket eder? Bu soruya cevap vermek için, Maxwell, farklı sıcaklıklarda gaz moleküllerinin davranışını incelemiştir.

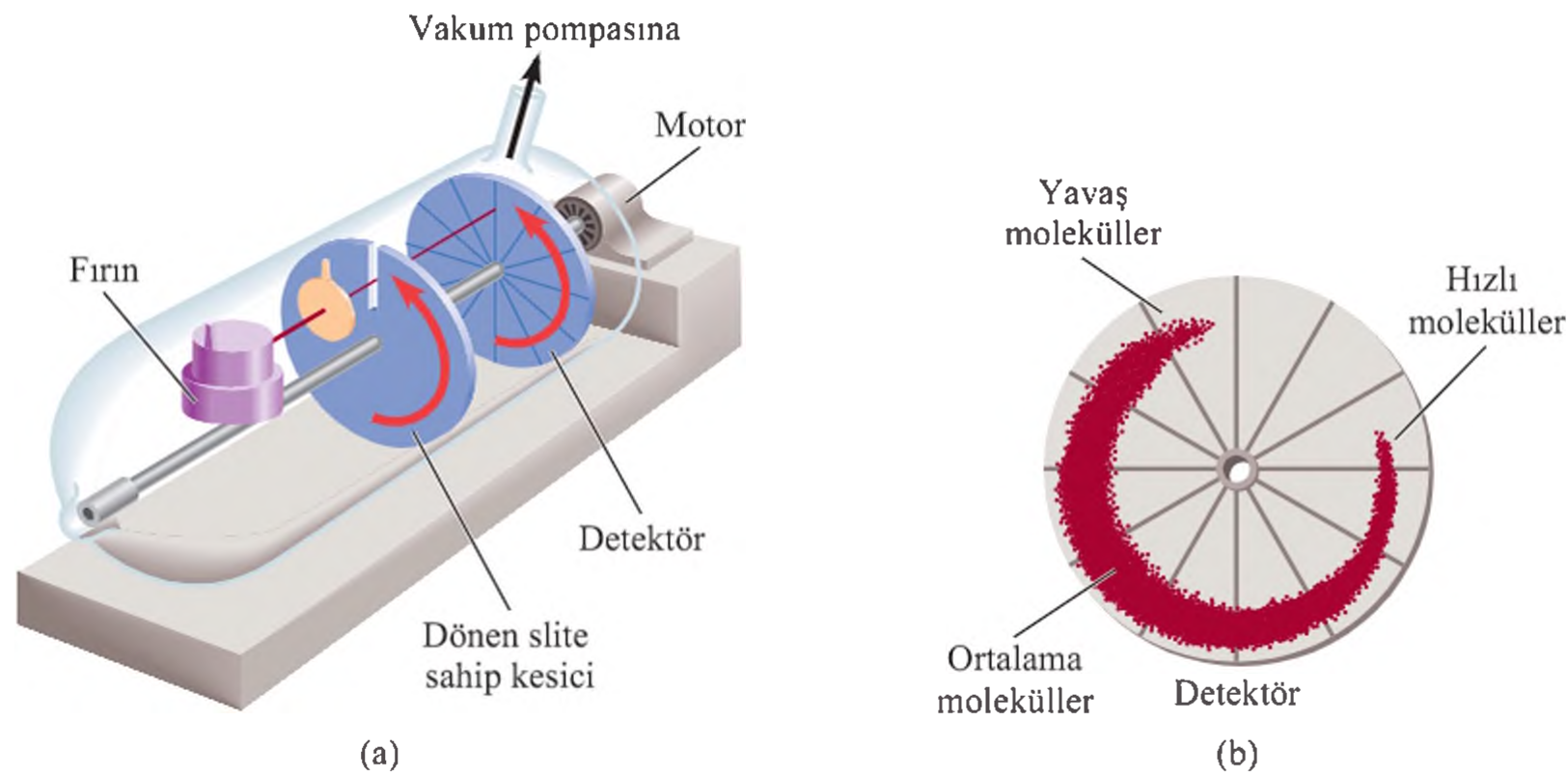
Şekil 5.17(a)'da üç farklı sıcaklıkta azot gazı için *Maxwell hız dağılım eğrileri* gösterilmiştir. Dağılım eğrisi, verilen bir sıcaklıkta, belli bir hızda hareket eden moleküllerin sayısı hakkında bilgi verir. Her eğrinin tepe noktası *en* olasılıklı *hızı*, yani, en fazla sayıdaki moleküllerin hızını ifade eder. Sıcaklık arttıkça (tepe noktası sağa kayar), en olasılıklı hızın arttığına dikkat ediniz. Ayrıca, sıcaklık arttıkça, eğri düzleşmeye başlar ki, bu da daha fazla sayıda molekülün daha hızlı hareket ettiğini gösterir.



Şekil 5.171 (a) Üç farklı sıcaklıkta azot gazı için hızların dağılımı. yüksek sıcaklıklarda, daha fazla sayıdaki molekül daha hızlı hareket eder. (b) 300 K'de üç farklı gazın hız dağılımları. Belirli bir sıcaklıkta, daha hafif moleküller ortalama olarak daha hızlı hareket ederler.

rır. Şekil 5.17(b) aynı sıcaklıkta üç farklı gazın hız dağılımlarını gösterir. Eğrilerdeki farklılık, daha hafif moleküllerin, daha ağır moleküllere göre ortalama olarak daha hızlı hareket etmeleriyle açıklanabilir.

Moleküler hız dağılımı Şekil 5.18'de gösterilen düzenek ile gösterilebilir. Belirli bir sıcaklıktaki bir fırından yayılan atom (ya da molekül) demeti iğne deliğinden (demeti paralelleştirmek için) geçer. Aynı mil üzerine monte edilmiş iki dairesel plaka bir motor tarafından döndürülmektedir. Birinci plaka "kesici" ikinci plaka ise dedektördür. Kesici kullanmanın amacı atom demetinin (veya moleküllerin) doğrultusu aynı hizaya gelince ince yarıktan geçmesine izin vermektir. Her püskürmede, daha hızlı hareket eden moleküller daha yavaş hareket edenlerden daha çabuk dedektöre ulaşır. Sonunda, moleküller dedektörde tabaka halinde birikir. İki plaka aynı hızda döndüğünden dolayı, sonraki püskürmedeki moleküller, dedektör plakasındaki aynı yerde



Şekil 5.18 (a) Moleküler hız dağılımının belli bir sıcaklıkta incelenmesi için bir düzenek. Vakum pompası gösterildiği gibi, moleküllerin soldan sağa doğru hareket etmesine neden olur. (b) Dedektörün üzerine saçılarak biriken dağılım, moleküler hız aralığını verir. Birikim yoğunluğu, farklı hızlarda hareket eden moleküllerin kesrine karşılık gelir.

aynı hızla gelen bir önceki püskürmede biriken moleküllere çarpar. Zamanla, moleküler birikme gözle görülür hale gelir. Biriken moleküllerin yoğunluğu belirli sıcaklıktaki moleküller hız dağılımını gösterir.

Hız-Kareleri-Ortalamasının Karekökü

Herhangi bir T sıcaklığında, bir molekül ortalama olarak ne kadar hızla hareket eder? Molekül hızını tahmin etmenin bir yolu, *ortalama molekül hızı* olarak bilinen ***hız-kareleri-ortalamasının karekökünü*** (u_{rms}) hesaplamaktır. Gazların kinetik kuramından elde edilen sonuca göre, herhangi bir gazın bir molünün toplam kinetik enerjisi $\frac{3}{2}RT$ 'ye eşit olmalıdır. Daha önce, bir tek molekülün ortalama kinetik enerjisinin $\frac{3}{2}RT$ olduğunu görmüştük. Buna göre:

$$\begin{aligned} KE &= \frac{3}{2}RT \\ N_A(\frac{1}{2}m\overline{u^2}) &= \frac{3}{2}RT \end{aligned}$$

Burada N_A Avogadro sayısı ve m bir tek molekülün kütlesidir. $N_A m = \mathcal{M}$ olduğundan (\mathcal{M} mol kütlesi) yukarıdaki eşitlik yeniden şöyle düzenlenebilir:

$$\overline{u^2} = \frac{3RT}{\mathcal{M}}$$

Her iki tarafın karekökü alınırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\sqrt{\overline{u^2}} = u_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{\mathcal{M}}} \quad (5.16)$$

Eşitlik (5.16), bir gazın hız-kareleri-ortalamasının karekökünün, sıcaklığın (kelvin olarak) karekökü ile arttığını gösterir. Paydada yer aldığı için, kütlesi büyük olan gazların molekülleri daha yavaş hareket eder. Eğer yukarıdaki eşitlikte R değeri 8,314 J/K mol (Ek 2'ye bakınız) ve mol kütlesi kg/mol olarak yerine konursa, u_{rms} değeri m/s olarak hesaplanır. Bu işlem Örnek 5.16'da gösterilmiştir.

Örnek 5.16

Helyum atomlarının ve azot moleküllerinin 25°C'de hız-kareleri-ortalamasının karekökünü m/s olarak hesaplayınız.

İzlenecek Yol Hız-kareleri-ortalamasının karekökünü hesaplamak için Eşitlik (5.16)'yı kullanınız. u_{rms} 'nin m/s birimide ifade edilebilmesi için R ve \mathcal{M} 'nin birimleri ne olmalıdır?

Çözüm u_{rms} değerini hesaplamak için R 'nin birimi 8.314 J/K mol olmalıdır ve 1 J = 1 kg m²/s² olduğundan mol kütlesi kg/mol olmalıdır. He'un mol kütlesi 4.003 g/mol yani 4.003×10^{-3} kg/mol'dür. Eşitlik (5.16)'dan:

$$\begin{aligned} u_{rms} &= \sqrt{\frac{3RT}{\mathcal{M}}} \\ &= \sqrt{\frac{3(8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol})(298 \text{ K})}{4.003 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}}} \\ &= \sqrt{1.86 \times 10^6 \text{ J/kg}} \end{aligned}$$

(Devamı)

1 J = 1 kg m²/s² çevirme faktörünü kullanarak:

$$\begin{aligned} u_{\text{rms}} &= \sqrt{1,86 \times 10^6 \text{ kg m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}^2} \\ &= \sqrt{1,86 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 1,36 \times 10^3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Mol kütlesi 28,02 g/mol veya $2,802 \times 10^{-2}$ kg/mol olan N₂ için de aynı işlem yapıldığında, aşağıdaki hesaplamalarla sonuç bulunur.

$$\begin{aligned} u_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{3(8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mole})(298 \text{ K})}{2,802 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}}} \\ &= \sqrt{2,65 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 515 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kontrol He gazı daha hafif bir gaz olduğundan, ortalama olarak N₂'den daha hızlı hareket etmesini bekleriz. Cevapları hızlı bir şekilde kontrol etmenin şöyle bir yolu vardır. İki u_{rms} değerlerinin birbirine oranını ($1,36 \times 10^3/515 \approx 2,6$), N₂'nin mol kütlesinin He'nin mol kütlesine oranının kareköküne, yani, $2,6$ 'ya eşittir. $\sqrt{28/4} \approx 2,6$,

Alıştırma Klor molekülünün 20°C'da hız-kareleri-ortalamasının karekökünü m/s olarak hesaplayınız.



Şekil 5.19 Tek bir gaz molekülü tarafından katedilen yol. Yöndeki her değişim, diğer bir molekül ile çarpışmayı gösterir.

Örnek 5.16'daki hesaplamamız, Dünya atmosferinin bileşimi ile ilginç bir ilişkisi vardır. Jüpiter'den farklı olarak, Dünya atmosferinde büyük miktarda hidrojen ve helyum bulunmaz. Neden? Çünkü, Jüpiter'den daha küçük bir gezegen olan Dünya, hafif moleküller üzerinde yeterince yerçekimi kuvvetine sahip değildir. Kaba bir hesap, bir molekülün Dünya'nın yerçekiminden kurtulmak için $1,1 \times 10^4$ m/s'ye eşit veya daha fazla bir kaçış hızına sahip olması gerektiğini gösterir. Helyumun ortalama hızı azot ve oksijen moleküllerinden oldukça fazla olduğundan, Dünya'dan uzaya kaçan He sayısı daha fazladır. Dolayısıyla, helyumun sadece çok az bir miktarı bizim atmosferimizde kalır. Diğer taraftan, Dünya'nın kütlesinden 320 kat daha fazla bir kütleye sahip olan Jüpiterde, helyum atomu daha çoktur. Bundan dolayı Jüpiter atmosferi hem ağır hem de hafif gazların her ikisini de barındırır.

Sayfa 208'de "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasında, oldukça düşük sıcaklıklardaki gazların neden olduğu büyüleyici bir olay anlatılmaktadır.

Gaz Difüzyonu ve Efüzyonu

Şimdi gaz hareketini esas alan iki olayı inceleyeceğiz.

Gaz Difüzyonu

Gazların gelişigüzel hareketlerinin doğrudan gösterimi difüzyon tarafından sağlanır.

Difüzyon (yayılma), *gaz moleküllerinin başka gaz molekülleri ile kendi kinetik özellikleri sayesinde yavaş yavaş karışmasına* denir. Gerçekte moleküllerin hızları çok büyük olmasına rağmen, difüzyon işleminin tamamlanması oldukça uzun zaman alır. Örneğin, bir şişe derişik amonyak çözeltisini laboratuvar tezgâhının bir ucunda açtığınız zaman, tezgâhın diğer ucundaki kişinin kokuyu alması biraz zaman alır. Bunun nedeni, bir molekülün (Şekil 5.19'da gösterildiği gibi) tezgâhın bir ucundan diğerine çeşitli çarpışmalar yaparak ulaşmasıdır. Böylece, gazların difüzyonu her zaman yavaş meydana gelir (oysaki molekül hızlarına göre hemen olacağı izlenimini verir). Ayrıca, hafif bir gazın hız kareleri ortalamasının karekökü, ağır bir gazınkinden daha büyük



Jüpiter. Bu büyük kütleli gezegenin atmosferi neredeyse yalnızca hidrojendir.

Difüzyon daima yüksek derişimli bir bölgeden daha düşük derişimli bir bölgeye doğrudur.

Animasyon
Gazların difüzyonu

Süper Soğuk Atomlar

Bir gaz mutlak sıfıra oldukça yakın bir sıcaklığa kadar soğutulursa ne olur? Yaklaşık 85 yıl önce, Albert Einstein, Hintli fizikçi Satyendra Nath Bose'nin geliştirdiği çalışmadan, bazı elementlerin gaz atomlarının son derece düşük sıcaklıklarda tek bir nicelik oluşturmak üzere "birleşeceklerini" veya "yoğunlaşacaklarını" ve bunun maddenin yeni bir hali olabileceğini öngördü. Bu süper soğutulmuş madde *Bose-Einstein yoğunlaşması* (BEC) olarak adlandırılmakta olup normal gazların, sıvıların ve katıların aksine, orijinal atomlar aralarında boşluk olmadığından ve atomlar birbiri üzerine örtüştüğünden, tek tek bağımsız atomlar içermezler.

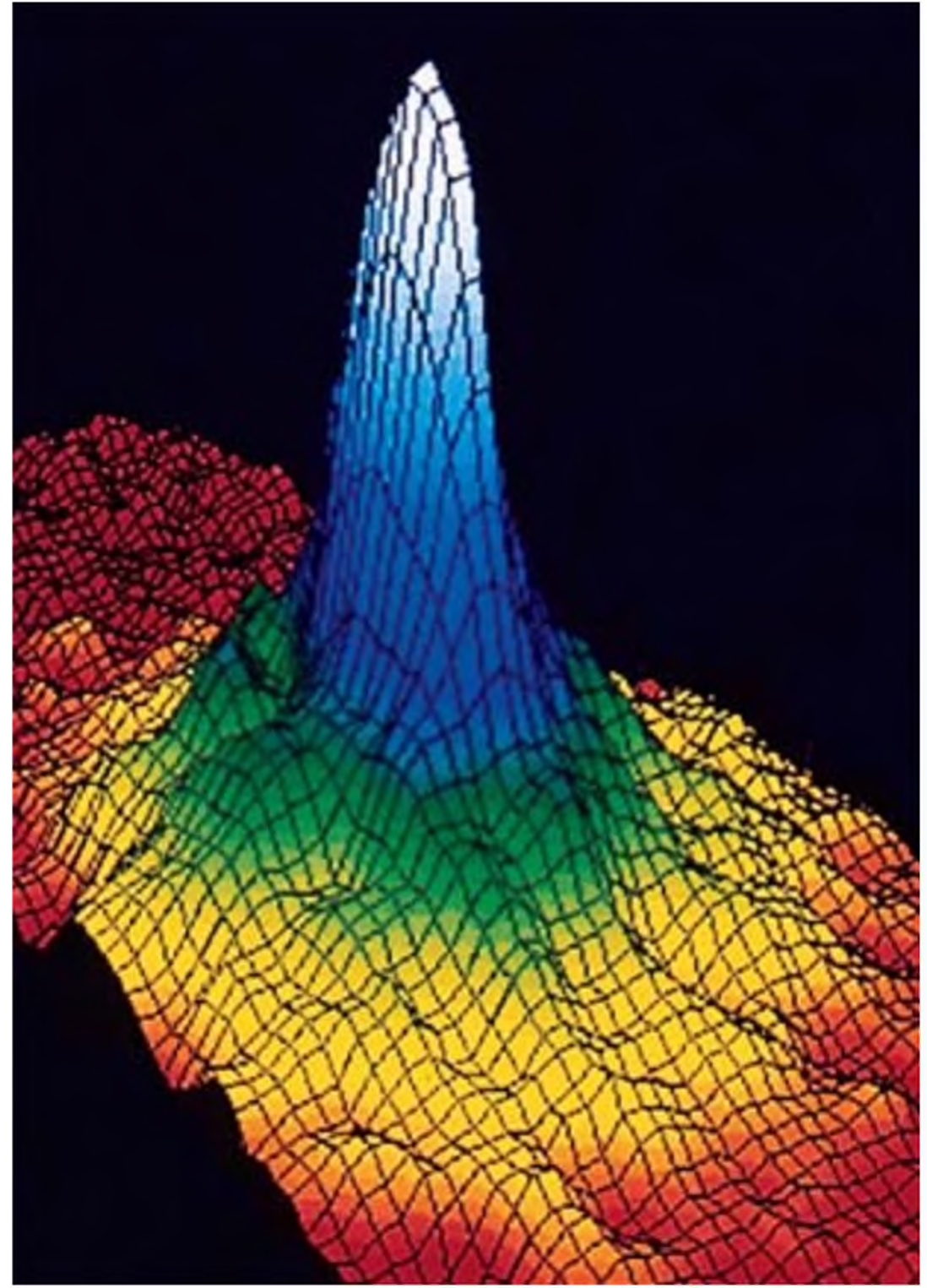
BEC üretmek için uluslararası bir çabaya Einstein'ın hipotezi esin kaynağı oldu. Ancak bilimde çoğu kez olduğu gibi, gerekli teknoloji o zaman mevcut değildi. Bu yüzden erken araştırmalar sonuç vermedi. Einstein'ın başka bir düşüncesine dayanan Lazerler BEC araştırmaları için özel olarak tasarlanmamıştır, ancak bu çalışma için önemli bir araç olmuştur.

Fizikçiler sonunda 1995 yılında, uzun süre aradıkları kanıtları buldular. Colorado Üniversitesinden bir grup araştırmacı, elde ettikleri başarıyı ilk kez rapor ettiler. "Lazer soğutma" olarak adlandırılan bir teknik kullanarak, gaz halindeki Rubidyum (Rb) atomlarını yaklaşık $1,7 \times 10^{-7}$ K'e kadar soğutup BEC elde ettiler. Bu işlemde lazer ışını bir atom demetine tam ortadan yönlendiriliyor ve atomların hareketlerini önemli ölçüde yavaşlatıyordu. Rb atomları altı lazerin kesişmesinden elde edilen "optik melas" içerisinde daha da fazla soğutuluyordu. Hızlı hareket eden yani gazdan daha fazla enerji ile hareket eden "daha sıcak" atomlar kaçarken en yavaş ve en soğuk atomlar manyetik bir alan içerisinde hapsedilmişlerdi. Bu koşullar altında, hapsedilip tuzaklanan atomların kinetik enerjileri, gazın son derece düşük sıcaklığını açıklayacak şekilde, neredeyse sıfır olmaktadır. Bu noktada, Rb atomları Einstein'ın öngördüğü gibi yoğunlaşırlar. BEC çıplak göz ile görünmemesine rağmen (çapraz uzunluk: 5×10^{-4} cm), bilim insanları onun üzerine başka bir lazer ışını göndererek bilgisayar ekranında görüntüleyebilmişlerdir. Uygulanan lazer ışını BEC'nin yaklaşık 15 saniye sonra parçalanmasına neden olmaktadır. Ancak, bu süre görüntüyü kaydetmek için yeterince uzun ve yeterli bir süredir.

Yandaki Şekil bu sıcaklıkta Rb atomlarının Maxwell hız dağılımını¹ göstermektedir. Renkler, iki yatay eksen tarafından belirlenen hızlara sahip atomların sayısını göstermektedir. Mavi ve beyaz kısımlar, BEC oluşturmak için birbirine girmiş atomları temsil etmektedir.

Colorado Üniversitesindeki bu araştırma grubunun buluşundan sadece haftalar sonra, benzer teknikler kullanarak Rice Üniversitesinden bir grup bilim insanı lityum atomları ile BEC

ettiler. 1998'de ise bu kez Massachusetts Teknoloji Enstitüsünden bilim insanları, hidrojen atomları ile BEC elde ettiler. O süreden bu yana, genel olarak BEC özelliklerini anlamak için birçok ilerlemeler oldu ve yapılan deneylerle bu işlem moleküler sistemlere doğru genişletildi. BEC çalışmalarının hala tam olarak anlaşılamamış bazı atom özelliklerine (bak. Bölüm 7) ve süper iletkenlik mekanizmasının aydınlatılmasına (bak. Bölüm 11 "Kimya İşbaşında") ışık tutacağı tahmin edilmektedir. BEC çalışmalarının ilave bir faydasıda, daha iyi lazerlerin geliştirilmesi olabilir. Diğer uygulamalardaki gelişmeler, BEC'in daha detaylı çalışılmasına bağlıdır. Bununla birlikte, maddenin yeni bir halinin keşfi yirminci yüzyılın en büyük bilimsel gelişmelerinden biridir.



Yaklaşık $1,7 \times 10^{-7}$ K'de Rb atomlarının Maxwell hız dağılımı. Merkezden (sıfır noktası) dışarıya doğru her iki eksen boyunca hız artar. Kırmızı renk en düşük Rb atomlarının sayısını, beyaz renk ise en yüksek sayısını gösterir. Beyaz bölgede ortalama hız yaklaşık 0,5 mm/s'dir.

¹Vektörel hız dağılımı, skaler hız dağılımından farklıdır. İlkinde hızın büyüklüğü ve yönü, ikincisinde ise büyüklüğü söz konusudur. Buna göre, vektörel hız hem pozitif hem de negatif değerler alabilir fakat skaler hız sadece sıfır veya pozitif değerlere sahiptir.



Şekil 5.20 Gaz difüzyonunun gösterimi. Sulu amonyak çözeltisi içeren bir şişeden gelen NH_3 gazı ile hidroklorik asit içeren bir şişeden gelen HCl gazı, katı NH_4Cl meydana getirmek üzere birleşirler. NH_3 daha hafif olduğundan HCl 'ye göre daha hızlı yayılır ve katı NH_4Cl oluşumu HCl şişesinin (sağda) yakınında ilk ortaya çıkar.

olduğundan (Örnek 5.16'a bakınız), hafif gaz ağır bir gaza göre daha hızlı yayılacaktır. Şekil 5.20 gaz difüzyonunu göstermektedir.

1832 yılında İskoç kimyacı Thomas Graham¹, aynı sıcaklık ve basınç koşullarında, gazların difüzyon hızlarının mol kütlelerinin karekökü ile ters orantılı olduğunu bulmuştur. Bu ifade, **Graham'ın difüzyon yasası** olarak bilinir ve matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{\mathcal{M}_2}{\mathcal{M}_1}} \quad (5.17)$$

Burada, r_1 ve r_2 , sırasıyla 1 ve 2 gazlarının difüzyon hızları, \mathcal{M}_1 ve \mathcal{M}_2 ise mol kütleleridir.

Gaz Efüzyonu

Difüzyon, bir gazın diğeri bir gaz ile yavaş yavaş karıştığı bir işlem iken, **efüzyon** (dışa yayılma, sızma), *basınç altındaki bir gazın, kabın bir bölmesinden diğeri bölmesine küçük bir delikten geçerek yayıldığı* bir işlemdir. Şekil 5.21 bir gazın vakuma efüzyonunu göstermektedir. Efüzyonun doğası difüzyondan farklı olduğu halde, bu gazın efüzyon hızı, Graham'ın difüzyon yasası ile yani aynı eşitlikle verilir [Eşitlik (5.17) ye bakınız]. Helyumla doldurulmuş bir balon, hava ile doldurulmuş balondan daha hızlı bir şekilde söner, çünkü daha hafif olan helyum atomlarının kauçuğun gözeneklerinden efüzyon hızı, hava moleküllerinininkinden daha hızlıdır. Gaz efüzyonu endüstriyel olarak, gaz halindeki $^{235}\text{UF}_6$ ve $^{238}\text{UF}_6$ uranyum izotoplarını ayırmak için kullanılır. Bilim adamları, bu gazları çok sayıda efüzyon basamaklarına tabi tutarak, oldukça zenginleştirilmiş ^{235}U izotopu elde etmişlerdir. Bu izotop İkinci Dünya Savaşı sırasında atom bombası yapımında kullanılmıştır.

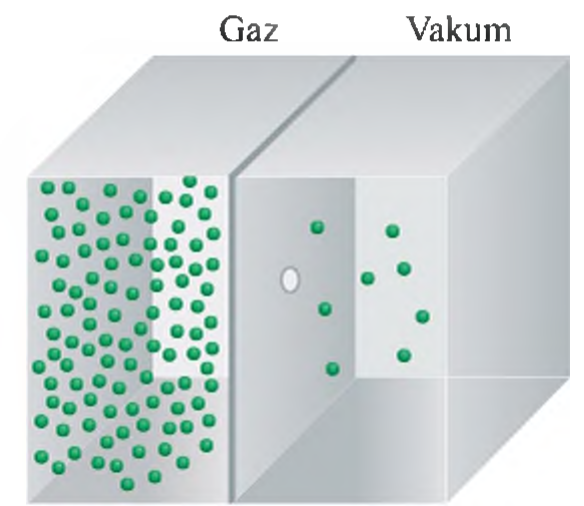
Örnek 5.17 Graham yasasının bir uygulamasını göstermektedir.

Örnek 5.17

Sadece karbon ve hidrojenden oluşan yanıcı bir gazın gözenekli bir engelden 1,50 dakikada yayıldığı bulunmuştur. Aynı sıcaklık ve basınç koşullarında, aynı hacimli brom buharı bu engelden 4,73 dakikada yayılmıştır. Bilinmeyen gazın mol kütlelerini hesaplayınız, bu gazın ne olabileceğini tahmin ediniz.

(Devamı)

¹Thomas Graham (1805–1869) İskoçya'lı kimyacıdır. Graham osmoz üzerine önemli çalışmalar yapmış ve bir kısım fosforik asitleri karakterize etmiştir.



Şekil 5.21 Gaz efüzyonu. Gaz molekülleri, yüksek-basınçlı bölgeden (sol) düşük-basınçlı bölgeye bir iğne deliğinden hareket ederler.

İzlenecek Yol Efüzyon hızı, verilen sürede gözenekli bir delikten geçen moleküllerin sayısıdır. Efüzyon için geçen süre ne kadar uzun ise efüzyon hızı o kadar yavaştır. Eşitlik (5.17) şimdi şu şekilde yazılabilir: $r_1/r_2 = t_2/t_1 = \sqrt{M_2/M_1}$ olup burada, t_1 ve t_2 sırasıyla 1 ve 2 gazlarının efüzyon süreleridir.

Çözüm Br_2 'nin mol kütlelerinden şöyle yazabiliriz:

$$\frac{1,50 \text{ min}}{4,73 \text{ min}} = \sqrt{\frac{M}{159,8 \text{ g/mol}}}$$

Burada M , bilinmeyen gazın mol kütleleridir. Yukarıdaki eşitlik M için çözülürse:

$$\begin{aligned} M &= \left(\frac{1,50 \text{ min}}{4,73 \text{ min}} \right)^2 \times 159,8 \text{ g/mol} \\ &= 16,1 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Karbonun mol kütlesi 12,01 g ve hidrojenin mol kütlesi 1,008 g olduğuna göre, mol kütlesi bilinmeyen gaz metandır (CH_4).

Alıştırma Bilinmeyen bir gazın gözenekli bir duvardan efüzyon süresi 192 saniyedir. Aynı sıcaklık ve basınçta, aynı hacimde N_2 gazı için bu süre 84 saniyedir. Bilinmeyen gazın mol kütlesi nedir?

Kavramların Değerlendirilmesi

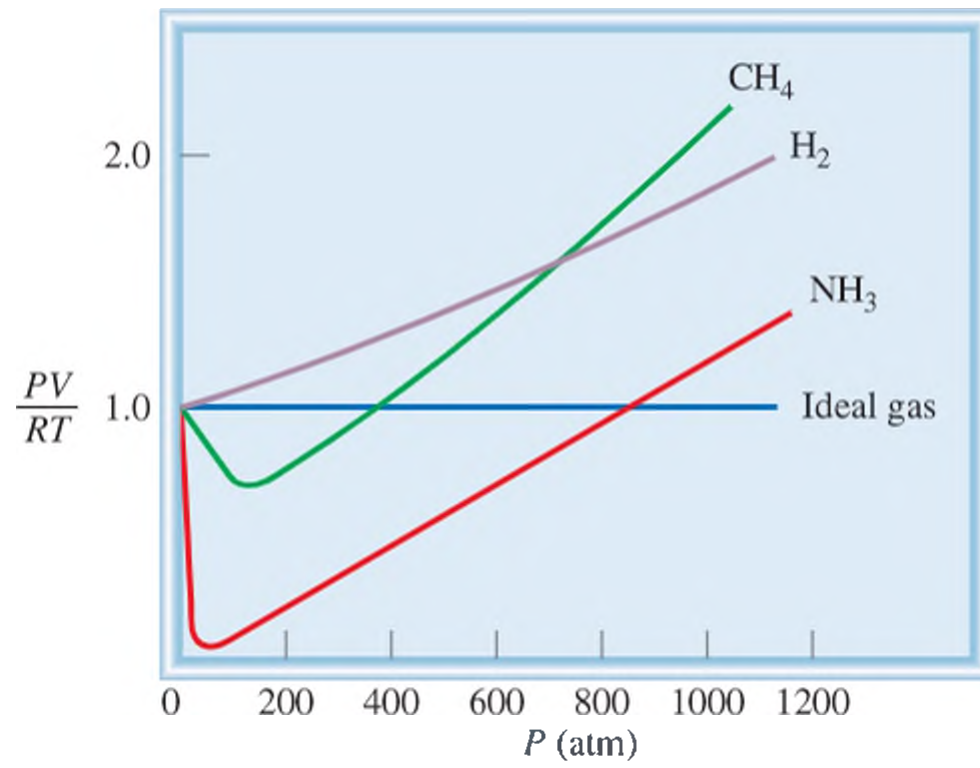
Birer mol He ve Cl_2 gazlarının STP'de; (a) Hız karelerinin ortalamasının karekökünü, (b) efüzyon hızını, (c) ortalama kinetik enerjisini, (d) hacimlerini karşılaştırınız.

5.8 İdeal Davranıştan Sapma

Gaz yasaları ve kinetik molekül kuramı, gaz halindeki moleküllerin birbirine çekme ve itme kuvveti uygulamadığını varsaymaktadır. Diğer varsayım ise, moleküllerin hacimlerinin kabın hacmi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek kadar küçük olmasıdır. Bu iki koşulu sağlayan bir gazın *ideal davrandığı* söylenebilir.

Gerçek gazlarında ideal bir gaz gibi davrandığını varsayabilmemize karşın, her koşul altında böyle olmasını bekleyemeyiz. Örneğin, ideal gazda yok farzedilen moleküllerarası kuvvetler gerçekten olmasaydı, gazlar sıkıştırılarak sıvılaştırılamazdı. O halde önemli olan soru şudur: Gazlar hangi koşullarda ideallikten saparlar?

Şekil 5.22'de, belirli bir sıcaklıkta ideal gaz ve üç gerçek gazın P 'ye karşı PV/RT grafiği görülmektedir. Şekilde görülen grafik ideal gaz davranışının hangi koşullarda kabul edilebileceğini çok iyi açıklamaktadır. İdeal gaz eşitliğine göre (1 mol gaz için) PV/RT değeri 1'e eşittir ($n = 1$ olduğunda, $PV = nRT$, $PV = RT$ veya $PV/RT = 1$ 'dir). Gerçek gazlar için, bu sadece oldukça düşük basınçlarda (≤ 5 atm) doğrudur ve basınç arttıkça önemli sapmalar meydana gelir. Çekim kuvvetleri, moleküller arasında oldukça kısa mesafelerde etkilidir. Atmosfer basıncında, bir gazda moleküller birbirinden uzaktır ve çekim kuvvetleri ihmal edilebilir. Hâlbuki yüksek basınçlarda, gazın yoğunluğu artar ve moleküller birbirine daha yakın olur. Bu durumda, moleküllerarası kuvvetler, moleküllerin hareketini etkileyecek kadar önemli hale gelir ve gaz ideal olarak davranamaz.



Şekil 5.22 0°C'de bir mol gazın PV/RT 'ye karşı P grafiği. Gazın basıncı ne olursa olsun, ideal bir gazın 1 molünün PV/RT değeri 1'e eşittir. Gerçek gazlarda, yüksek basınçlarda ideallikten sapmalar gözlenir. Çok düşük basınçlarda ise bütün gazlar ideal davranış gösterir; Yani, P sıfıra yaklaştıkça PV/RT değerleri 1'e yaklaşır.

Gazların ideal davranıştan sapmalarını incelemenin diğer bir yolu da sıcaklığı düşürmektir. Gaz soğutulursa moleküllerin ortalama kinetik enerjisi azalır ve buna bağlı olarak moleküllerin hareketi de azalacağı için moleküllerarası çekim kuvvetleri artar.

Gerçek gazları, tam olarak inceleyebilmek için, moleküllerarası kuvvetleri ve moleküllerin gerçek hacinlerini dikkate alarak ideal gaz eşitliğini yeniden düzenlememiz gerekir. Böyle bir analiz ilk defa 1873 yılında Hollandalı fizikçi J. D. van der Waals¹ tarafından yapılmıştır. van der Waals'ın yaklaşımı matematiksel bakımdan basit olmasına rağmen, gerçek gaz davranışlarını moleküler seviyede açıklayabilmektedir.

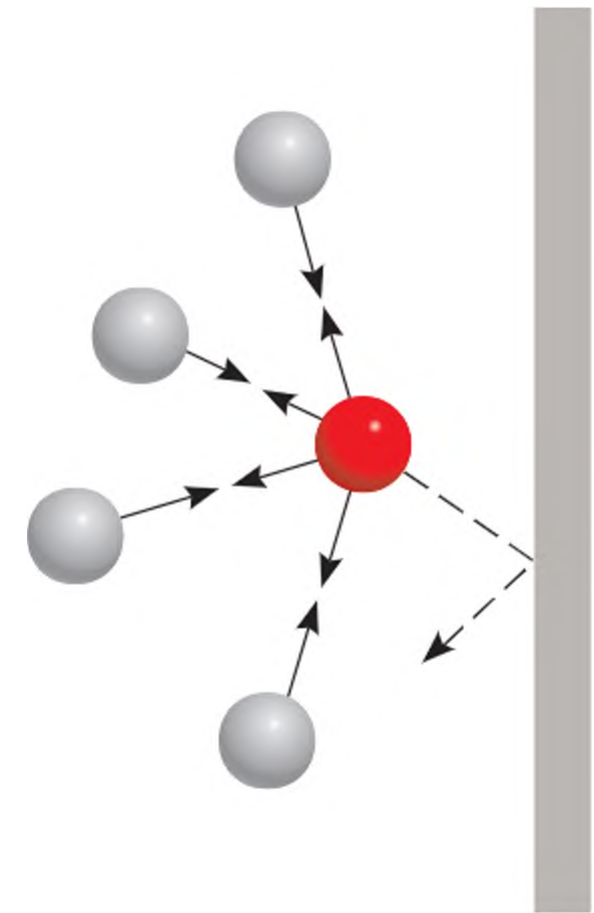
Bir gaz molekülünün, içinde bulunduğu kabın çeperine yaklaştığını düşünelim (Şekil 5.23). Komşu moleküller tarafından uygulanan moleküllerarası çekimler, bu molekülün çepere yaptığı etkiyi yumuşatır. Bu durumda, ideal bir gaz için beklediğimizden daha düşük bir gaz basıncı oluşur. van der Waals, ideal bir gaz tarafından uygulanan basıncın (P_{ideal}) deneysel olarak ölçülen yani gözlenen basıncı ($P_{göz}$) ile ilişkili olduğunu aşağıdaki eşitlikle belirtmiştir:

$$P_{ideal} = P_{gerçek} + \frac{an^2}{V^2}$$

\uparrow \uparrow
 gözlenen basıncı düzeltme terimi

Burada a bir sabit, n ve V sırasıyla gazın molü ve hacmidir. Basıncı için düzeltme terimi (an^2/V^2) şu şekilde anlaşılabilir: İdeal olmayan davranışa neden olan moleküllerarası etkileşim, herhangi iki molekülün birbirlerine hangi sıklıkla yaklaştığına bağlıdır. Moleküllerin birbiriyle "Çarpışma" sayısı, birim hacimdeki moleküllerin sayısının karesi (n/V)² ile artar, çünkü belirli bir bölgede iki molekülden her birinin bulunması n/V ile orantılıdır. P_{ideal} değeri, moleküllerarası çekim olmadığında ölçülecek olan basıncıdır, a ise sadece bir orantı sabitidir.

Diğer bir düzeltme terimi, gaz molekülleri tarafından kaplanan hacimle ilgilidir. İdeal gaz eşitliğinde, V , kabın hacmini ifade eder. Ancak, her bir molekül oldukça küçük ve kendine özgü sınırlı bir hacme sahiptir. Buna göre, gazın etkin hacmi ($V - nb$) olur. Burada n gazın mol sayısı b ise bir sabittir. nb terimi ise gazın n molü tarafından kaplanan hacmi gösterir.



Şekil 5.23 Bir gazın uyguladığı basıncı moleküllerarası kuvvetlerin etkisi. Kabın çeperine yakın hareket eden bir molekülün (kırmızı küre) hızı, komşuları (gri küreler) ile arasındaki çekim kuvvetlerinden dolayı azalır. Sonuçta, molekülün çeper ile yaptığı çarpışma, moleküllerarası kuvvet olmadığında yaptığı etki kadar büyük değildir. Bu yüzden, ölçülen gaz basıncı, ideal davranışla kıyaslandığında genellikle daha düşüktür.

¹Johannes Diderck van der Waals (1837–1923) Alman fizikçidir. van der Waals 1910 yılında, gazlar ve sıvıların özellikleri üzerine yaptığı çalışma ile Nobel Fizik ödülünü almıştır.

Basınç ve hacim için düzeltme terimleri dikkate alınarak, ideal gaz denklemi yeniden yazılabilir:

Eşitlik (5.18)'de P deneysel olarak ölçülen gaz basıncını, V ise kabın hacmini gösterir.

$$\underbrace{\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)}_{\text{düzeltilmiş basınç}} \underbrace{(V - nb)}_{\text{düzeltilmiş hacim}} = nRT \quad (5.18)$$

İdeal olmayan bir gazda P , V , T ve n arasındaki bağıntıyı veren eşitlik (5.18), **van der Waals eşitliği** olarak bilinir. van der Waals sabitleri a ve b , Eşitlik (5.18) ile söz konusu gazın gözlenen davranışını ilişkilendirerek en iyi yaklaşımı sağlayabilmek için seçilmişlerdir.

Bazı gazlar için a ve b değerleri Çizelge 5.4'de listelenmiştir. a 'nın değeri, bir gazda moleküllerarası çekimin ne derece kuvvetli olduğunu gösterir. Örneğin, helyum gazının a değeri en küçüktür, yani helyum atomları arasındaki çekim kuvvetleri en zayıftır. Ayrıca, molekül büyüklüğü ile b arasında da kabaca bir ilişki vardır. Genellikle, molekül (veya atom) ne kadar büyük olursa, b sayısı da o kadar büyük olur.

Aşağıdaki Örnek 5.18'de ideal gaz eşitliği ve van der Waals eşitliği kullanılarak hesaplanan bir gazın, basınçlarının karşılaştırılması yer almaktadır.

Çizelge 5.4

Bazı Yaygın Gazların “van der Waals Sabitleri”

Gaz	a	b
He	0.034	0.0237
Ne	0.211	0.0171
Ar	1.34	0.0322
Kr	2.32	0.0398
Xe	4.19	0.0266
H ₂	0.244	0.0266
N ₂	1.39	0.0391
O ₂	1.36	0.0318
Cl ₂	6.49	0.0562
CO ₂	3.59	0.0427
CH ₄	2.25	0.0428
CCl ₄	20.4	0.138
NH ₃	4.17	0.0371
H ₂ O	5.46	0.0305

Örnek 5.18

3,50 mol NH₃ gazının 47°C'da 5,20 L hacim kapladığı bilindiğine göre, bu gazın basıncını (atm) (a) ideal gaz eşitliğini (b) van der Waals eşitliğini kullanarak hesaplayınız.

İzlenecek Yol İdeal gaz eşitliğini kullanarak NH₃'ün basıncını hesaplamak için, Örnek 5.3'deki yolu izleriz. van der Waals eşitliğindeki basınç ve hacim terimlerinde hangi düzeltmeler yapılmalıdır?

Çözüm (a) Veriler aşağıda sıralanmıştır:

$$\begin{aligned} V &= 5,20 \text{ L} \\ T &= (47 + 273) \text{ K} = 320 \text{ K} \\ n &= 3,50 \text{ mol} \\ R &= 0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol} \end{aligned}$$

Bu değerleri ideal gaz eşitliğinde yerine koyarsak:

$$\begin{aligned} P &= \frac{nRT}{V} \\ &= \frac{(3,50 \text{ mol})(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(320 \text{ K})}{5,20 \text{ L}} \\ &= 17,7 \text{ atm} \end{aligned}$$

(b) Eşitlik (5.18)'i kullanmalıyız. Önce, Eşitlik (5.18)'deki düzeltme terimlerini ayrı ayrı hesaplayalım. Çizelge 5.4'den a ve b terimlerini elde ederiz:

$$\begin{aligned} a &= 4,17 \text{ atm} \cdot \text{L}^2/\text{mol}^2 \\ b &= 0,0371 \text{ L/mol} \end{aligned}$$

(Devamı)

Buna göre basınç ve hacim için düzeltme terimleri hesaplanır.

$$\frac{a n^2}{V^2} = \frac{(4.17 \text{ atm} \cdot \text{L}^2/\text{mol}^2)(3.50 \text{ mol})^2}{(5.20 \text{ L})^2} = 1.89 \text{ atm}$$

$$nb = (3.50 \text{ mol})(0.0371 \text{ L/mol}) = 0.130 \text{ L}$$

Sonra, bu verileri van der Waals eşitliğine yerleştiririz:

$$(P + 1.89 \text{ atm})(5.20 \text{ L} - 0.130 \text{ L}) = (3.50 \text{ mol})(0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(320 \text{ K})$$

$$P = 16.2 \text{ atm}$$

Kontrol İdeal olmayan gaz davranışları gözönüne alındığında, van der Waals eşitliği ile hesaplanan basıncın ideal gaz eşitliği ile hesaplanandan küçük olması mantıklı mıdır? Neden?

Alıştırma Çizelge 5.4'de gösterilen verileri kullanarak, 38°C'da 2.45 L hacme sahip 4.37 mol klor molekülünün uyguladığı basıncı hesaplayınız. Bulduğumuz sonucu ideal gaz eşitliği ile hesaplanan basınçla karşılaştırınız.

Benzer problem: 5.93.

Kavramların Değerlendirilmesi

Hangi sıcaklık ve basınç koşulları ideal gaz davranışından en fazla sapmaya neden olur?

Anahtar Eşitlikler

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (5.2)$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (5.4)$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (5.6)$$

$$V = k_A n \quad (5.7)$$

$$PV = nRT \quad (5.8)$$

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad (5.9)$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (5.10)$$

$$d = \frac{PM}{RT} \quad (5.11)$$

$$X_i = \frac{n_i}{n_T} \quad (5.13)$$

$$P_i = X_i P_T \quad (5.14)$$

$$\overline{KE} = \frac{1}{2} m \overline{u^2} = CT \quad (5.15)$$

Boyle yasası. Basınç ya da hacim değişimi hesaplamaları için.

Charles yasası. Sıcaklık ya da hacim değişimi hesaplamaları için.

Charles yasası. sıcaklık ya da basınç değişim hesaplamaları için.

Avogadro yasası sabit P ve T .

İdeal gaz eşitliği.

Basınç, sıcaklık, hacim yada gaz miktarındaki değişimlerin hesaplanması için.

n sabit olduğunda basınç, sıcaklık ya da hacim değişimlerinin hesaplanması için.

Yoğunluk yada mol kütlesi hesaplamaları için.

Mol kesri tanımı

Dalton kısmi basınçlar yasası. Kısmi basınç hesaplamaları için.

Bir gazın ortalama kinetik enerjisinin mutlak sıcaklık ile ilişkilendirilmesi.

$$u_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (5.16)$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad (5.17)$$

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (5.18)$$

Gaz moleküllerinin hız kareleri ortalamasının karekökünün hesaplanması için.

Graham'ın difüzyon ve efüzyon yasası.

van der Waals eşitliği. İdeal olmayan bir gazın basıncının hesaplanması için.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Birçok element ve moleküller bileşik. 25°C ve 1 atm'de gaz halinde bulunur. Atmosfer şartlarında, iyonik bileşikler gaz halinden ziyade katı halde bulunurlar.
2. Gaz molekülleri serbestçe hareket ettiklerinden herhangi bir yüzeye çarpmaları nedeniyle basınç oluştururlar. Gaz basınç birimleri mmHg, torr, paskal ve atmosferdir. 1 atm 760 mmHg veya 760 torr'a eşittir.
3. İdeal gazların basınç-hacim ilişkisi Boyle yasası ile verilir. Hacim basınçla ters orantılıdır (T ve n sabit).
4. İdeal gazların sıcaklık-hacim ilişkisi, Charles ve Gay-Lussac yasaları ile verilmektedir. Hacim sıcaklıkla doğru orantılıdır (P ve n sabit).
5. Mutlak sıfır (-273,15°C) kuramsal olarak ulaşılabilecek en düşük sıcaklıktır. Kelvin sıcaklık eşelinde, 0 K, mutlak sıfırdır. Bütün gaz yasaları ile ilgili hesaplamalarda, sıcaklık Kelvin olarak alınmalıdır.
6. İdeal gazların miktar-hacim ilişkileri Avogadro yasası ile tanımlanır: Gazların eşit hacimleri eşit sayıda molekül içerir (aynı T ve P 'de).
7. İdeal gaz eşitliği, $PV = nRT$ olup, Boyle, Charles ve Avogadro yasalarının bileşimidir. Bu eşitlik ideal bir gazın davranışını tanımlar.
8. Dalton'un kısmi basınçlar yasasına göre, bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımı oluşturan her bir gazın kısmi basınçlarının toplamına eşittir. Kısmi basınç ise, karışımındaki bir gazın, karışımın hacmini tek başına kapladığı zaman uyguladığı basınçtır.
9. Kinetik molekül kuramı, gaz moleküllerinin davranışını tanımlayan matematiksel bir yol olup, şu varsayımlara dayanmaktadır: Gaz molekülleri, birbirlerinden kendi boyutlarından çok daha büyük uzaklıklarla ayrılırlar, belirli bir kütleleri vardır, fakat hacimleri ihmal edilebilir, sürekli hareket ederler ve sıklıkla birbirleri ile çarpışırlar. Moleküller birbirini ne çeker, ne de iterler.
10. Maxwell hız dağılım eğrisi, verilen bir sıcaklıkta farklı hızlarda ne kadar molekülün hareket ettiğini gösterir. Sıcaklık arttıkça, daha fazla molekül daha büyük hızla hareket eder.
11. Difüzyonda, iki gaz birbirleriyle yavaş yavaş karışır. Efüzyonda ise gaz molekülleri basınç altında küçük bir delikten hareket ederler. Her iki işleme de aynı matematiksel yasa uygulanır (Graham difüzyon ve efüzyon yasası).
12. van der Waals denklemi, gerçek gazların ideal olmayan davranışlarını da hesaba katarak, ideal gaz eşitliğinin düzenlenmiş bir şeklidir. Burada şu iki düzeltme yapılmıştır: birincisi, gerçek gaz molekülleri arasında çekim kuvvetleri vardır. İkincisi, bu moleküller belirli bir öz hacme sahiptirler. Van der Waals sabitleri her bir gaz için deneysel yolla belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Mutlak sıcaklık eşeli, s. 182

Mutlak sıfır, s. 182

Atmosfer basıncı, s. 175

Avogadro yasası, s. 183

Barometre, s. 176

Boyle yasası, s. 178

Charles ve Gay-Lussac yasası, s. 182

Charles yasası, s. 182

Dalton kısmi basınçlar yasası, s. 196

Difüzyon, s. 207

Efüzyon, s. 209

Gaz sabiti (R), s. 184

Graham'ın difüzyon yasası, s. 209

İdeal gaz, s. 185

İdeal gaz eşitliği, s. 184

Joule (J), s. 202

Kelvin sıcaklık eşeli, s. 182

Kinetik enerji (KE), s. 202

Gazların kinetik molekül

kuramı, s. 202

Manometre, s. 177

Mol kesri, s. 197

Newton (N), s. 175

Kısmi basınç, s. 195

Paskal (Pa), s. 175

Basınç, s. 175

Hız-kareleri-ortalamasının-karekökü (u_{rms}), s. 206

Standard atmosfer

basıncı (1 atm), s. 176

Standard sıcaklık ve basınç (STP), s. 185

van der Waals eşitliği, s. 212

Sorular ve Problemler

Gaz Halinde Bulunan Maddeler

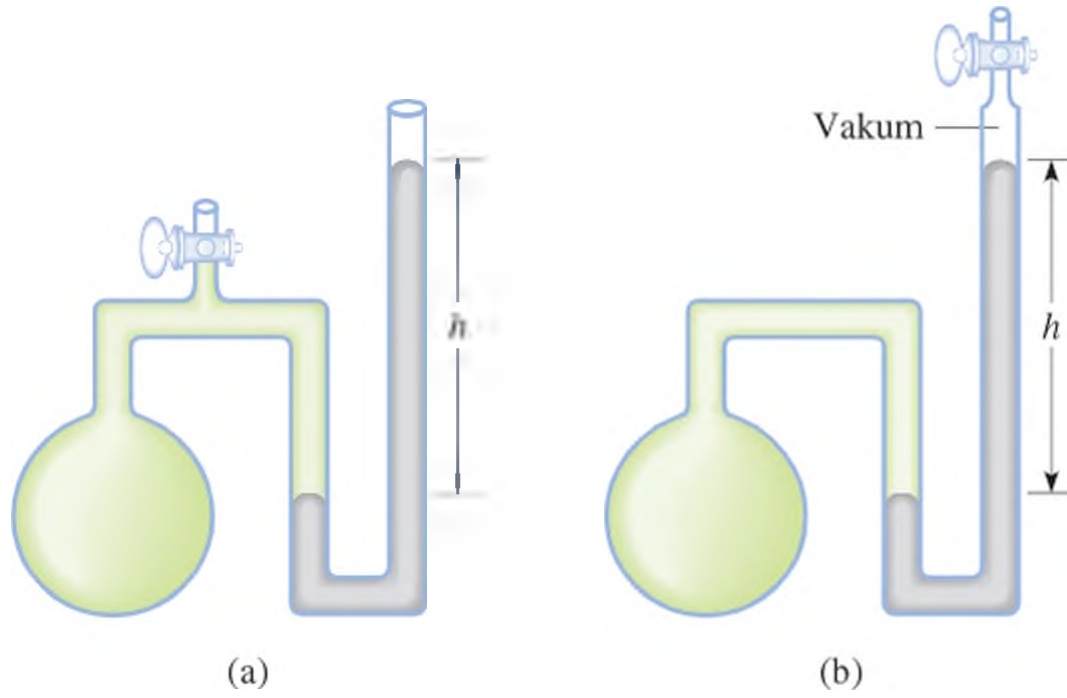
Tarama Soruları

- 5.1 Oda sıcaklığında gaz halinde bulunan beş element ve beş bileşiğin adlarını yazınız.
- 5.2 Gazların fiziksel özelliklerini listeleyiniz.

Bir Gazın Basıncı

Tarama Soruları

- 5.3 Basıncı tanımlayınız ve yaygın olarak kullanılan basınç birimlerini belirtiniz.
- 5.4 Yüksek irtifada uçan bir uçakta olduğumuzda kulaklarımız ağrır. Bu rahatsız edici durum bir miktar su almak, esneme veya yutkunma ile geçici olarak giderilebilir. Nedenini açıklayınız.
- 5.5 Neden barometrede su yerine civa kullanılması daha uygundur?
- 5.6 Barometrede civa yüksekliğinin tüpün kesit alanından bağımsız olmasının nedenini açıklayınız. Boru belli bir açı ile örneğin 15° eğimli olsaydı barometre doğru ölçermiydi? (Şekil 5.3'e bakınız)
- 5.7 Uzunluk biriminin(mmHg) bir basınç birimi olarak nasıl kullanılabildiğini açıklayınız.
- 5.8 Musluk açıldığında aşağıdaki manometrelerde civa sütununun ne olacağını açıklayınız.



- 5.9 Gaz ile buhar arasındaki fark nedir? 25°C sıcaklıkta, aşağıdaki gaz halinde bulunan maddelerden hangisini gaz, hangisini buhar olarak varsaymak daha uygundur: moleküler azot (N_2), Cıva (Hg)?
- 5.10 Bir kuyudan emme pompası ile suyun çekilebildiği maksimum derinlik 10,3 m ise, Dünya yüzeyinin yüzlerce metre altından su ve petrol çıkarılması nasıl mümkün olmaktadır?

- 5.11 Barometrede okunan değer niçin dünyanın bir yerinde yüksek iken, başka bir yerinde düşüktür?
- 5.12 Astronotlar ayın yüzeyinde neden koruyucu elbiseler giymek zorundadırlar?

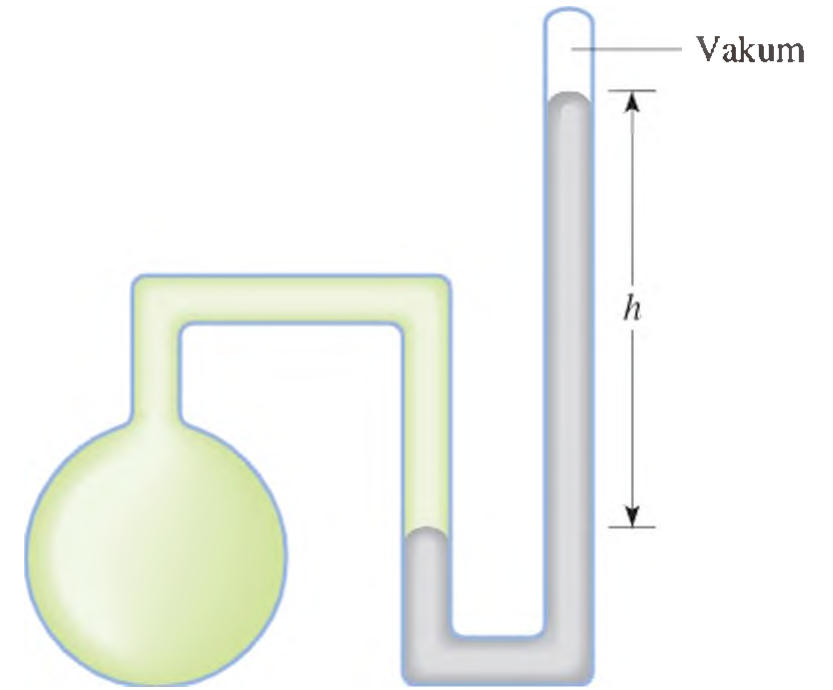
Problemler

- 5.13 562 mmHg basıncını atm cinsinden hesaplayınız.
- 5.14 Mc Kinley Dağının zirvesindeki atmosfer basıncı belirli bir günde 606 mmHg'dır. Bu basıncın atm ve kPa cinsinden değerleri nedir?

Gaz Yasaları

Tarama Soruları

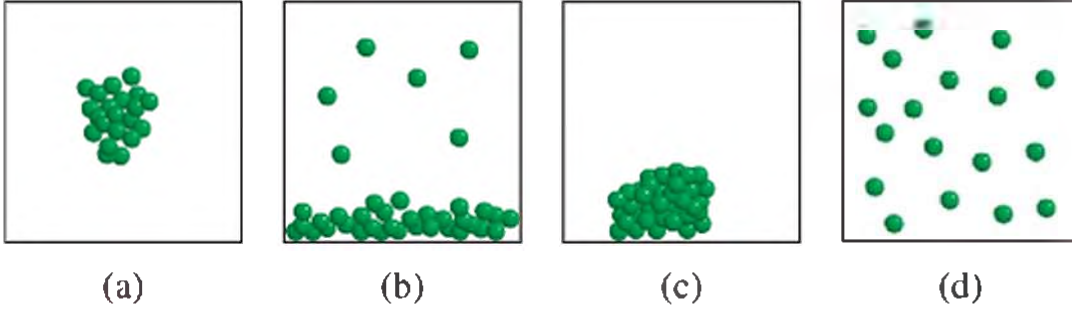
- 5.15 Aşağıdaki gaz yasalarını sözcüklerle ve bir eşitlikle ifade ediniz: Boyle Yasası, Charles Yasası, Avagadro Yasası. Herbiri için, bu yasaların hangi koşullarda uygulanabilir olduğunu belirtiniz. Herbir yasa için yazdığımız eşitliklerdeki birimleri belirtiniz.
- 5.16 Aşağıda gösterildiği gibi, belirli bir miktar gaz kapalı uçlu bir civa manometresi içinde yer alır. Hiçbir parametre değişmeden (a) gazın miktarı artırılırsa; (b) gazın mol kütlesi iki kat artırılırsa; (c) gazın sıcaklığı artırılırsa; (d) odadaki atmosfer basıncı artırılırsa; (e) civa daha az yoğun bir sıvı ile yer değiştirirse; (f) bir miktar gaz sağ taraftaki boru üstündeki vakuma ilave edilirse; (g) Sağ taraftaki tüpün tepesinden bir delik açılırsa, h yüksekliği artar mı azalır mı yoksa sabit mi kalır?



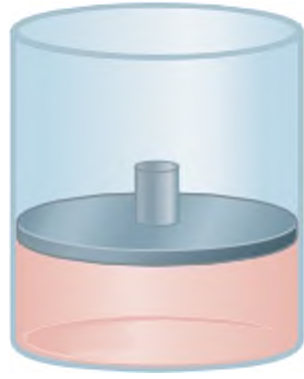
Problemler

- 5.17 Bir maddenin gaz halindeki örneği sabit basınçta soğutulmuştur. Eğer son sıcaklık (a) maddenin kaynama noktasının üstünde ise (b) maddenin kaynama

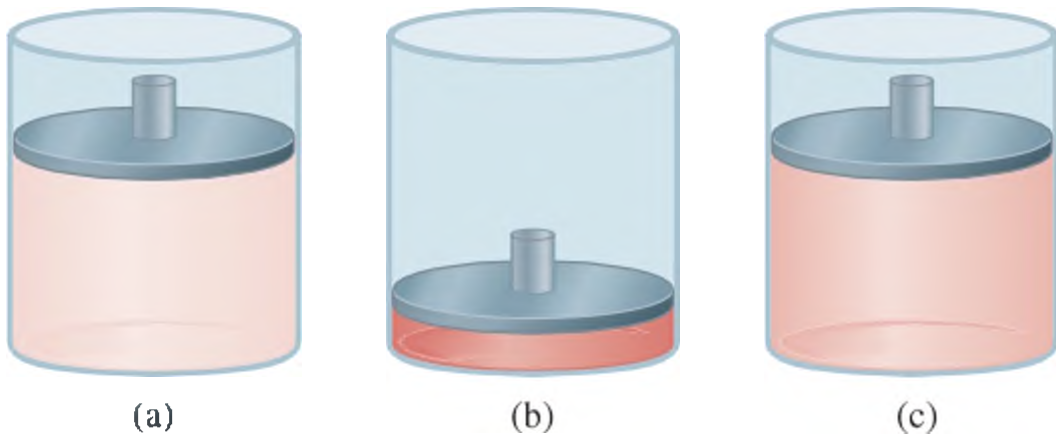
noktasının altında fakat donma noktasının üstünde ise aşağıdaki diyagramlardan hangisi bu durumu en iyi şekilde gösterir?



- 5.18** Aşağıdaki hareketli piston içerisinde bir gaz örneği düşününüz. Başlangıçta T sıcaklığında, P basınçta, V hacimde n mol gaz vardır.



Aşağıdaki her bir değişim sonrasında gazın durumunu ifade eden silindiri seçiniz (1) Sabit n ve T 'de piston üzerindeki basınç üç kat artmıştır. (2) Sabit n ve P 'de sıcaklık iki kat artmıştır. (3) Sabit T ve P 'de n mol başka bir gaz eklenmiştir. (4) Sıcaklık yarıya düşmüş ve piston üzerindeki basınç, başlangıç değerinin dörtte birine düşmüştür.



- 5.19 0,970 atm basınçta 725 mL hacmi işgal eden bir gaz, sabit sıcaklıkta basıncı 0,541 atm'e düşene kadar genişletiliyor. Gazın son hacmi nedir?
- 5.20** 46°C'de bir amonyak gazı örneğinin basıncı 5,3 atm'dir. Aynı sıcaklıkta gazın hacmi başlangıç hacminin onda birine (0,10) düşürülürse, gazın basıncı ne olur?
- 5.21 1,00 atm'de bir gazın ölçülen hacmi 5,80 L'dir. Sabit sıcaklıkta gazın hacmi 9,65 L'ye çıkarılırsa basınç mmHg cinsinden nedir?

- 5.22** 1,2 atm'de bir hava örneği 3,8 L hacim kaplamaktadır. (a) 6,6 atm basınçta ne kadar hacim kaplar? (b) Sabit sıcaklıkta 0,075 L hacme sıkıştırmak için gereken basınç nedir?
- 5.23 36,4 L metan gazı sabit basınçta 25°C'dan 88°C'a ısıtılmıştır. Gazın son hacmi nedir?
- 5.24** Başlangıçta 88°C sıcaklıkta 9,6 L hacim kaplayan hidrojen gazı örneği, sabit basınç altında hacmi 3,4 L olana kadar soğutulmuştur. Gazın son sıcaklığı nedir?
- 5.25 Amonyak yanarak, azot monoksit (NO) ve su buharı oluşturur. Aynı sıcaklık ve basınçta bir hacim amonyaktan kaç hacim NO elde edilir?
- 5.26** Klor ve flor molekülleri birleşerek gaz bir ürün oluştururlar. Aynı sıcaklık ve basınçta bir hacim Cl_2 gazının üç hacim F_2 ile tepkimeye girerek iki hacim ürün oluşturduğu görülmüştür. Ürünün molekül formülü nedir?

İdeal Gaz Eşitliği

Tarama Soruları

- 5.27 Bir ideal gazın özelliklerini sıralayınız. İdeal gaz eşitliğini yazınız ve sözcüklerle ifade ediniz. Eşitlikteki her bir terimin birimini belirtiniz.
- 5.28 Eşitlik (5.9)'u kullanarak bütün gaz yasalarını türetiniz.
- 5.29 Standart sıcaklık ve basınç (STP) nedir? 1 mol ideal gaz için STP ne anlam ifade eder?
- 5.30 Bir gazın yoğunluğu atmosfer koşullarında niçin sıvı veya katıya göre çok küçüktür? Gazın yoğunluğunu belirtmek için normalde hangi birimler kullanılır.

Problemler

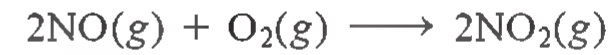
- 5.31 32°C'de 2,3 L hacim kaplayan azot gazının basıncı 4,7 atm'dir. Gazın mol sayısını hesaplayınız.
- 5.32** 30,4 L hacimli bir kaptaki 6,9 mol karbon monoksit bulunmaktadır. 62°C sıcaklıkta gazın atm cinsinden basıncı nedir?
- 5.33 5,6 mol kükürt hekzaflorür (SF₆) 128°C sıcaklık ve 9,4 atm basınçta kapladığı hacmi ne kadardır?
- 5.34** 25°C sıcaklıkta belli bir miktar gaz 0,800 atm basınç altında, cam bir kaptaki tutulmaktadır. Cam kabın 2,0 atm basınca dayanıklı olduğunu kabul edelim. Cam kabı patlatmadan sıcaklığı ne kadar yükseltebilirsiniz?
- 5.35 1,2 atm basınçta 25°C sıcaklıkta 2,50 L hacme sahip bir gaz ile doldurulmuş bir balonun stratosfere

- (Dünya yüzeyinde yaklaşık 30 km yükseklik) yükselmesine izin verilmiştir. Stratosferdeki sıcaklık ve basınç sırasıyla -23°C ve 3.00×10^{-3} atm'dir. Balonun son hacmini hesaplayınız.
- 5.36** STP'de 2,5 L hacim kaplayan bir gazın sıcaklığı sabit hacimde 250°C 'a yükseltilmiştir. Gazın son basıncını atm cinsinden hesaplayınız.
- 5.37 6,0 L hacimli esnek bir kaptaki ideal gazın basıncı ilk basıncının üçte birine ve mutlak sıcaklığı yarıya indirilmiştir. Gazın son hacmi nedir?
- 5.38** Glukozun fermantasyonu sırasında açığa çıkan gazın hacmi, $20,1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 1,00 atm basınç altında ölçüldüğünde, 0,78 L'dir. Bu gazın 1,00 atm basınç ve $36,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki hacmi nedir?
- 5.39 Başlangıçta 0,85 atm basınç ve 66°C sıcaklıktaki ideal bir gazın genleşmesiyle hacmi, basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 94 mL, 0,60 atm ve 45°C olmuştur. Gazın ilk hacmi nedir?
- 5.40** 88,4 g CO_2 'in STP'deki hacmini hesaplayınız.
- 5.41 772 mmHg basınç ve $35,0^{\circ}\text{C}$ 'da bir gaz 6,85 L hacim kaplamaktadır. STP'deki hacmini hesaplayınız.
- 5.42** Kuru buz katı karbon dioksittir. 0,050 g kuru buz örneği 4,6 L hacimli havası boşaltılmış bir kaba 30°C 'da konmuştur. Bütün kuru buz CO_2 gazına dönüştürüldükten sonra kaptaki basıncı hesaplayınız.
- 5.43 STP'de 0,280 L hacimli bir gaz 0,400 g gelmektedir. Gazın mol kütlelerini hesaplayınız.
- 5.44** 7,10 g ağırlığındaki bir gaz 741 torr basınç ve 44°C sıcaklıkta 5,40 L hacim kaplamaktadır. Mol kütleleri nedir?
- 5.45 Stratosferde bulunan ozon molekülleri güneşten gelen zararlı ışımanın çoğunu soğurur. Genellikle stratosferdeki ozonun sıcaklık ve basıncı sırasıyla 250 K ve 1.0×10^{-3} atm'dir. Bu koşullar altında 1,0 L havada kaç ozon molekülü vardır?
- 5.46** Havanın hacimce % 78'i N_2 , % 21'i O_2 ve % 1'i Ar içerdiğini varsayarsak, STP de 1,0 L havada her bir gazdan kaç molekül vardır?
- 5.47 2,10 L hacimli bir kaptaki 1,00 atm basınç ve $27,0^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 4,65 g gaz bulunmaktadır. (a) Gazın yoğunluğunu gram/litre cinsinden hesaplayınız. (b) Gazın mol kütleleri nedir?
- 5.48** Hidrojen bromür (HBr) gazının, 733 mmHg basınç ve 46°C sıcaklıkta, yoğunluğunu gram/litre cinsinden hesaplayınız.
- 5.49 Anestezik bir madde kütlece %64,9 C, %13,5 H ve %21,6 O içermektedir. 120°C sıcaklık ve 750 mmHg basınçta, 1,00 L gaz bileşiği 2,30 g gelmektedir. Bileşiğin molekül formülü nedir?
- 5.50** Kaba formülü SF_4 olan gaz bileşiğinin 0,100 gramı, 20°C sıcaklık ve 1,02 atm basınçta, 22,1 mL hacim kaplamaktadır. Bileşiğin molekül formülü nedir?
- 5.51 1 atm ve 20°C 'daki azot'un sahip olduğu yoğunluğa 30°C 'da neon'un sahip olması için gerekli basınç nedir?
- 5.52** Klor ve flor içeren bir gaz karışımının 0,893 atm ve 14°C 'da yoğunluğu 1,77 g/L'dir. Gazların Kütlece yüzdesini hesaplayınız.

Gaz Stokiyometrisi

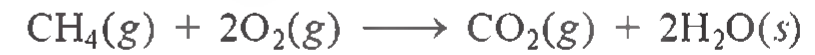
Problemler

- 5.53 Azot dioksitin, azot oksit ve oksijenden oluştuğunu düşünelim:



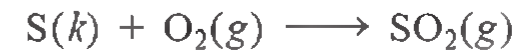
STP'de O_2 'nin aşırısı ile 9,0 L NO tepkimeye girerse oluşan NO_2 'nin hacmi (L) nedir?

- 5.54** Doğal gazın ana bileşeni olan metan ısıtma ve pişirme de kullanılır. Yanma işlemi şöyledir:



15,0 mol CH_4 tepkimeye girerse, $23,0^{\circ}\text{C}$ ve 0,985 atm'de oluşan CO_2 'in hacmi (L) nedir?

- 5.55 Kömür yandığı zaman kömürde bulunan kükürt, asit yağmurlarına neden olan kükürt dioksit (SO_2) döndürür.



2,54 kg S oksijen ile tepkimeye girerse 1,12 atm ve $30,5^{\circ}\text{C}$ 'da oluşan SO_2 'in hacmini (mL) hesaplayınız.

- 5.56** Maya, alkol fermantasyonu işleminde glükosu etanol ve karbon dioksit döndürür:



5,97 g glükozun tepkimesinden 293 K ve 0,984 atm'de 1,44 L CO_2 elde edilirse tepkimenin yüzde verimi nedir?

- 5.57 P ve F'den oluşan bir bileşik aşağıdaki gibi analiz edilmiştir. Bu bileşiğin 0,2324 g'ı 378 cm^3 hacimli bir kaptaki ısıtılarak tamamen gaza dönüştürülmüş ve 77°C sıcaklıkta basıncı 97,3 mmHg'dır. Sonra bu gaz kalsiyum klorür çözeltisi ile karıştırılmış ve işlem sonucunda bütün F, $0,2631\text{ g CaF}_2$ 'ye dönüştürmüştür. Bileşiğin molekül formülünü bulunuz.

- 5.58** 0,225 g M metal (mol kütleleri = $27,0\text{ g/mol}$) aşırı hidroklorik asit ile tepkimeye girdiğinde 0,303 L hidrojen gazı (17°C ve 741 mmHg'da) açığa çıkmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak tepkime denklemi öngörünüz ve M metalinin oksit ve sülfat formüllerini yazınız.

- 5.59 73,0 g NH_3 eşit kütlede HCl ile karıştırıldığında oluşan katı NH_4Cl 'ün kütleleri nedir? Tepkimeye girmekten kalan gaz hangisidir ve $14,0^{\circ}\text{C}$ ve 752 mmHg'da hacmi nedir?

- 5.60** Saf olmayan 3,00 g kalsiyum karbonat örneğinin hidroklorik asit ile çözünmesinden 0,656 L karbon dioksit (20,0 °C ve 792 mmHg'da) elde ediliyor. Örnekteki kalsiyum karbonatın kütlece yüzdesini hesaplayınız. Varsayımları belirtiniz.
- 5.61 STP'de 5,6 L moleküler hidrojenin, moleküler klor gazının aşırısı ile tepkimesinden oluşan hidrojen klorürün gram cinsinden kütlelerini hesaplayınız.
- 5.62** Etanol (C₂H₅OH) havada yanar:
- $$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(s) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(s)$$
- Eşitliği denkleştiriniz ve 35,0 °C ve 790 mmHg'da 227 g etanolü yakmak için gerekli havanın hacmini litre olarak hesaplayınız. Havanın hacimce yüzde 21,0 O₂ olduğunu varsayınız.
- 5.63 (a) Aynı sıcaklık ve basınçta, aşağıdaki eşitliğe göre 12,8 L azot oksit elde etmek için tepkimeye girmesi gereken amonyak ve oksijenin hacmi (L) nedir?
- $$4\text{NH}_3(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{NO}(g) + 6\text{H}_2\text{O}(g)$$
- (b) Aynı sıcaklık ve basınçta, aşağıdaki eşitliğe göre 8,96 L hidrojenin oluşması için tepkimeye girmesi gereken propan ve su buharının hacmi (L) nedir?
- $$\text{C}_3\text{H}_8(g) + 3\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 3\text{CO}(g) + 7\text{H}_2(g)$$
- 5.64** Saf olmayan ve sülfür harici safsızlık içeren 4,00 g FeS örneğinin HCl ile tepkimesinden 14 °C ve 782 mmHg basıncında 896 mL H₂S elde edilmektedir. Örneğin kütlece yüzde olarak saflığını hesaplayınız.

Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası

Tarama Soruları

- 5.65 Dalton'un kısmi basınçlar yasası ve mol kesrini tanımlayınız. Mol kesrinin birimi var mıdır?
- 5.66 Bir hava örneği yalnızca azot ve oksijen gazlarını içermektedir ve bunların kısmi basınçları sırasıyla 0,80 atm ve 0,20 atm'dir. Toplam basıncı ve gazların mol kesrini hesaplayınız.

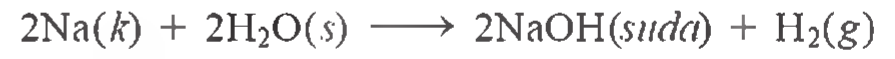
Problemler

- 5.67 Bir gaz karışımı CH₄, C₂H₆ ve C₃H₈ içermektedir. Toplam basınç 1,50 atm ve karışımda 0,31 mol CH₄, 0,25 mol C₂H₆ ve 0,29 mol C₃H₈ bulunduğu göre gazların kısmi basınçlarını hesaplayınız.
- 5.68** 15°C sıcaklıkta 2,5 L hacimli bir cam kapta N₂, He ve Ne gazlarının karışımı vardır. Bu gazların kısmi basınçları sırasıyla 0,32 atm, 0,15 atm ve 0,42 atm'dir. (a) Karışımın toplam basıncını hesaplayınız. (b) Seçimli olarak N₂ uzaklaştırılırsa, STP'de He ve Ne'nin kapladığı hacmi litre cinsinden hesaplayınız.

- 5.69 Deniz seviyesine yakın, kuru havada hacimce: %78,08 N₂; %20,94 O₂; %0,93 Ar; %0,05 CO₂ vardır. Atmosfer basıncı 1,00 atm'dir. (a) Her bir gazın atm cinsinden kısmi basıncını ve (b) Her bir gazın 0°C'deki mol/litre cinsinden derişimlerini hesaplayınız. (*İpucu:* Hacim mol sayısı ile orantılı olduğu için, gazların mol kesirleri aynı sıcaklık ve basınçtaki hacimlerinin oranı şeklinde ifade edilebilir).

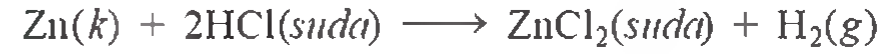
- 5.70** Helyum ve neon gaz karışımı, 28,0°C sıcaklık ve 745 mmHg basınçta, su üzerinde toplanmıştır. Eğer helyumun kısmi basıncı 368 mmHg ise neonun kısmi basıncı nedir? (28°C'da suyun buhar basıncı = 28,3 mmHg'dır).

- 5.71 Bir parça sodyum metali su ile aşağıdaki tepkimeyi verir:



Elde edilen hidrojen gazı 25°C sıcaklıkta su üzerinde toplanmıştır. 1,00 atm basınçta toplanan gazın hacmi 246 mL'dir. Tepkimede kullanılan sodyum kaç gramdır? (25°C'da suyun buhar basıncı = 0,0313 atm).

- 5.72** Bir çinko metali örneği aşırı hidroklorik asitle tamamen tepkimeye girmiştir:

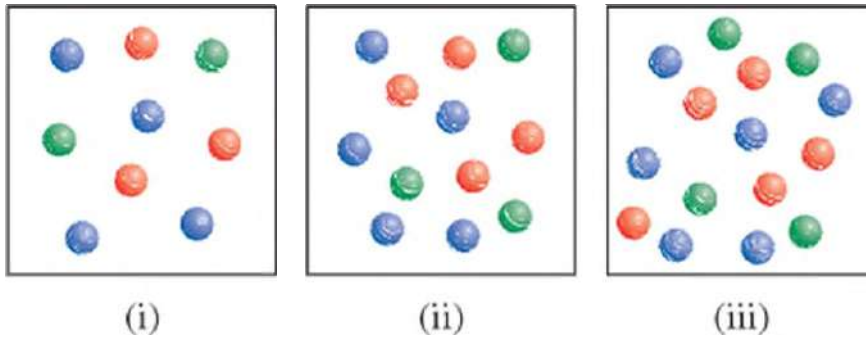


Üretilen hidrojen gazı 25°C'da Şekil 5.15'de gösterilen düzeneğe benzer bir düzenek kullanılarak su üzerinde toplanmıştır. Gazın hacmi 7,80 L ve basıncı 0,980 atm'dir. Tepkimede harcanan çinko metalinin miktarını gram cinsinden hesaplayınız. (25°C'da suyun buhar basıncı = 23,8 mm Hg)

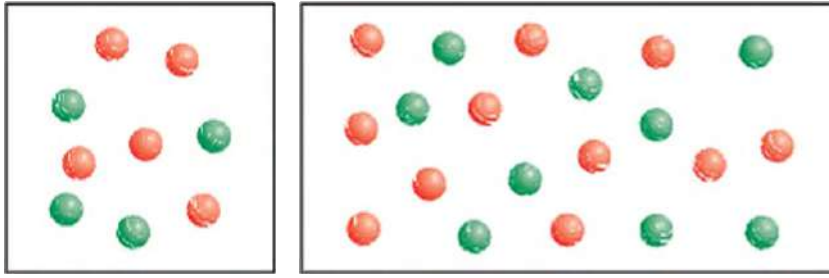
- 5.73 Derin deniz dalgıçları için helyum oksijen gazı ile karıştırılır. Dalgıç toplam basıncın 4,2 atm olduğu derinliğe kadar inmek zorunda ise, karışımdaki hacimce oksijen yüzdesini hesaplayınız. Bu derinlikte oksijenin kısmi basıncı 0,2 atm değerinde tutulur.

- 5.74** Bir amonyak (NH₃) gazı örneği, ısıtılmış demir yüzü üzerinde tamamen azot ve hidrojen gazlarına ayrıştırılmıştır. Toplam basınç 866 mmHg ise, azot ve hidrojen gazlarının kısmi basınçlarını hesaplayınız.

- 5.75 Sayfa 219'da(aşağıda) gösterilen kapların üç farklı gaz içerdiğini düşündünüz. Kapların hepsi aynı sıcaklık ve hacme sahiptir. (a) Hangi kapta A (mavi küre) nin kısmi basıncı en küçüktür? (b) Hangi kapta B (yeşil küre) nin kısmi basıncı en yüksektir?



- 5.76** Aşağıda verilen sağdaki kutunun hacmi soldaki kutunun hacminin iki katıdır. Kutular aynı sıcaklıkta helyum (kırmızı) atomları ve hidrojen (yeşil) molekülleri içermektedir. (a) Hangi kutunun toplam basıncı daha yüksektir? (b) Hangi kutuda helyumun kısmi basıncı daha düşüktür?



Gazların Kinetik Molekül Kuramı

Tarama Soruları

- 5.77** Gazların kinetik molekül kuramında, temel varsayımlar nelerdir? Kinetik moleküler kuram Boyle, Charles, Avogadro ve Dalton'un kısmi basınçlar yasalarını nasıl açıklar?
- 5.78** Maxwell hız dağılım eğrisi bize ne anlatır? 200 molekül içeren bir örnek için Maxwell kuramı geçerli midir? Açıklayınız.
- 5.79** Aşağıdaki iki ifadelerden hangisi doğrudur? (a) Gaz moleküllerinin birbirleriyle çarpışması ile ısı üretilir. (b) Bir gaz ısıtıldığında, moleküller birbiri ile daha sık çarpışırlar.
- 5.80** Gaz difüzyonu ve efüzyonu arasındaki fark nedir? Graham yasasını ve eşitlik (5.17)'deki terimleri açıklayınız.

Problemler

- 5.81** O_2 ve UF_6 moleküllerinin $65^\circ C$ 'da hız-kareleri-ortalamasının karekökünü karşılaştırınız.
- 5.82** Stratosferdeki sıcaklık $-23^\circ C$ 'dır. Bu bölgede bulunan N_2 , O_2 ve O_3 moleküllerinin hız-kareleri-ortalamasının karekökünü hesaplayınız.
- 5.83** Bir molekülün ardarda çarpışmaları sırasında aldığı ortalama uzaklığa *ortalama serbest yol* denir. Belirli bir miktar gaz için ortalama serbest yol aşağıdaki büyüklüklere nasıl bağlıdır (a) yoğunluk, (b) sabit hacimde sıcaklık, (c) sabit sıcaklıkta basınç, (d) sabit sıcaklıkta hacim, (e) atomların boyutu?
- 5.84** Belirli bir sıcaklıkta bir kaptaki altı adet gaz molekülünün hızları 2,0 m/s; 2,2 m/s; 2,6 m/s; 2,7 m/s;

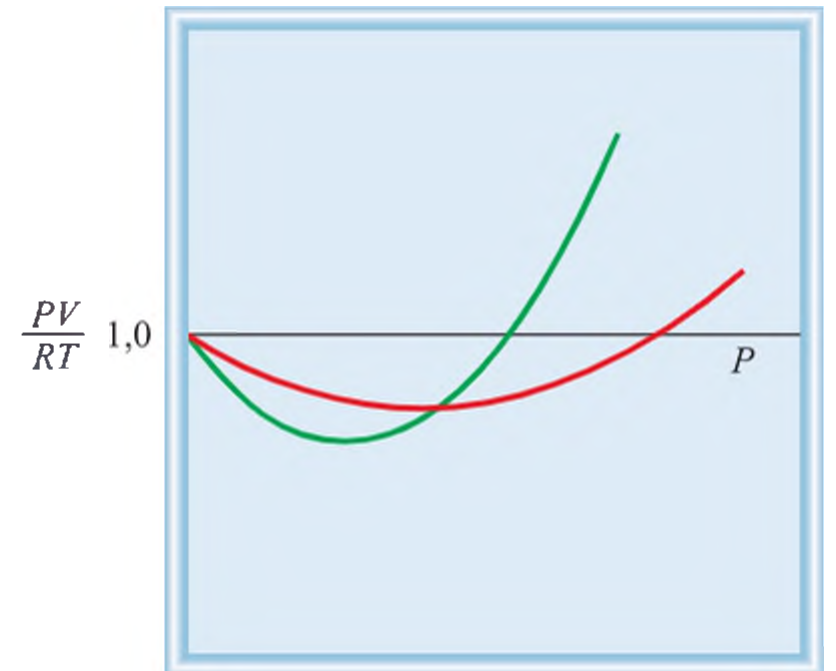
3,3 m/s ve 3,5 m/s dir. Moleküllerin ortalama hızlarını ve hız kareleri ortalamasının karekökünü hesaplayınız. Bu iki değer birbirine çok yakın, fakat hız-kareleri-ortalamasının karekökü her zaman daha büyüktür. Neden?

- 5.85** Gazların kinetik kuramını esas alarak Graham yasasını [Eşitlik (5.17)] türetiniz.
- 5.86** ^{235}U izotopu nötron ile bombardıman edildiğinde fizyona uğrar. Ancak, ^{235}U izotopunun bolluğu sadece yüzde 0,72'dir. Bunu daha bol bulunan ^{238}U izotopundan ayırmak için uranyum ilk olarak oda sıcaklığının üzerinde kolaylıkla buharlaşabilen UF_6 'ya dönüştürülür. Daha sonra $^{235}UF_6$ ve $^{238}UF_6$ gazların karışımı birçok efüzyon basamağına tabi tutulur. Bir basamak efüzyondan sonra ^{238}U 'e göre ^{235}U 'in zenginleşmesini ifade eden ayırma faktörünü hesaplayınız.
- 5.87** Glikozun fermantasyonundan elde edilen bir gazın, gözenekli bir bariyerden 15 dakikada geçtiği bulunmuştur. Aynı sıcaklık ve basınç altında, aynı gözenekli engelden eşit hacimli N_2 gazı 12 dakikada geçmektedir. Glikozun fermantasyonundan elde edilen bu gazın mol kütlelerini hesaplayınız ve ne olabileceğini öngörünüz.
- 5.88** Nikel elementi formülü $Ni(CO)_x$ olan gaz halinde bir bileşik oluşturur. Aynı sıcaklık ve basınç altında, metanın (CH_4) bu bileşikten 3.3 kat daha hızlı efüze olduğu gerçeği göz önüne alındığında x 'in değeri ne olur?

İdeal Davranıştan Sapma

Tarama Soruları

- 5.89** Gazların her zaman ideal davranmadığını gösteren iki kanıt gösteriniz.
- 5.90** Hangi koşullarda bir gazın en ideal davranması beklenir? (a) Yüksek sıcaklık ve düşük basınç, (b) Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç, (c) Düşük sıcaklık ve yüksek basınç, (d) Düşük sıcaklık ve düşük basınç.
- 5.91** Aşağıda ideal olmayan bir mol gaz için iki farklı sıcaklıkta gösterilen P 'ye karşı PV/RT grafiği verilmiştir. Hangi eğrinin sıcaklığı daha yüksektir?



- 5.92 (a) Gerçek bir gaz, hacmi V olan bir balona doldurulmuştur. Gazın düzeltilmiş hacmi V 'den daha büyük mü yoksa daha küçük müdür? (b) Amonyak, neon'dan daha büyük bir " α " değerine sahiptir(bak. Çizelge 5.4). Buna göre, amonyak molekülleri arasında ve neon atomları arasındaki çekim kuvvetlerinin gücü hakkında ne söyleyebilirsiniz?

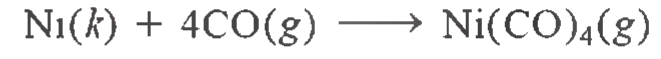
Problemler

- 5.93 Çizelge 5.4'deki verileri kullanarak, 450 K sıcaklıkta 5.00 L hacim içerisinde hapsedilen 2.50 mol CO_2 gazının uyguladığı gerçek basıncı hesaplayınız. Bunu ideal gaz eşitliğini kullanarak hesapladığınız basınç değeri ile karşılaştırınız.
- 5.94 27°C sıcaklıkta 1.50 L hacimli bir kaptaki 10.0 mol gaz, 130 atm basınç uygulamaktadır. Bu ideal bir gaz mıdır?

Ek Problemler

- 5.95 Aşağıdaki olayları gaz yasalarını göz önünde bulundurarak açıklayınız: (a) sıcak bir günde otomobil lastiğindeki basıncın artması, (b) kâğıt bir torbanın patlatılması (c) hava balonunun yükseldikçe genleşmesi, (d) bir ampül patladığında duyulan yüksek ses.
- 5.96 Aynı sıcaklık ve basınç altında, Ne, N_2 ya da CH_4 gazlarından hangisi en ideal olarak davranır? Açıklayınız.
- 5.97 Patlayıcı olan nitrogliserin aşağıdaki denkleme göre ayrışır:
- $$4\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3(k) \longrightarrow 12\text{CO}_2(g) + 10\text{H}_2\text{O}(g) + 6\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g)$$
- 2.6×10^2 g nitrogliserinden elde edilen gazların 1.2 atm ve 25°C'da toplam hacmini hesaplayınız. Bu şartlar altında gazların kısmi basınçları nedir?
- 5.98 Bir bileşiğin kaba formülü CH 'dir. 200°C sıcaklıkta bu bileşiğin 0.145 gramı 0.74 atm basınçta 97.2 mL hacim kaplamaktadır. Bileşiğin molekül formülü nedir?
- 5.99 Amonyum nitrit (NH_4NO_2) ısıtıldığında azot gazı vermek üzere ayrışır. Bu özellik bazı tenis toplarını şişirmek için kullanılır. (a) Tepkimenin denkleştirilmiş eşitliğini yazınız. (b) Bir tenis topunu 1.20 atm basınç ve 22°C sıcaklıkta 86.2 mL hacme kadar şişirmek için gereken amonyum nitrit miktarını gram cinsinden hesaplayınız.
- 5.100 Belli bir Alka-Seltzer ürünü içindeki bikarbonat (HCO_3^-) kütlece %32.5'dir. Bir insan 3.29 gramlık bir tablet yuttuğunda 37°C ve 1.00 atm'de üretilen CO_2 'nin hacmini (mL) hesaplayınız. (İpucu: mide-deki tepkime, HCl ve HCO_3^- arasındadır)
- 5.101 Sıvı azotun kaynama noktası -196°C'dır. Sadece bu bilgi ışığında, azotun ideal bir gaz olduğunu söyleyebilir misiniz?

- 5.102 Nikel metalinin saflaştırılmasında, önce nikelin karbon monoksitle birleştirilmesinden tetrakarbonil nikel elde edilir. Tetrakarbonil nikel 43°C'da gazdır:

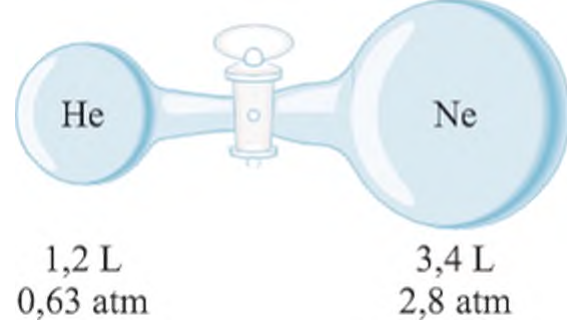


Bu tepkime nikeli diğer katı safsızlıklardan ayırır. (a) 86.4 g Ni'den yola çıkarak 4.00 L hacimli bir kaptaki $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 'ün basıncını hesaplayınız (Tepkimenin tamlandığını varsayınız). (b) Bu örnek 43°C sıcaklığın üzerinde ısıtıldığında, gazın basıncının ideal gaz eşitliğine göre beklenenden daha hızlı arttığı gözlenmiştir. Neden? Açıklayınız.

- 5.103 Karbon dioksitin kısmi basıncı mevsimlere göre değişir. Kısmi basıncın Kuzey Yarımkürede yazın mı yoksa kışın mı daha yüksek olmasını beklersiniz? Açıklayınız.
- 5.104 Sağlıklı bir yetişkin her nefes alış verişinde yaklaşık 5.0×10^2 mL gaz karışımını dışarıya verir. 37°C ve 1.1 atm'de bu hacimdeki molekül sayısını hesaplayınız. Bu gaz karışımının ana bileşenlerini sıralayınız.
- 5.105 Sodyum bikarbonat (NaHCO_3) kabartma tozu olarak adlandırılır. Isıtıldığında kurabiye, çörek ve ekmeğin şişmesini sağlayan karbon dioksit gazı açığa çıkar. (a) 180°C ve 1.3 atm'de, 5.0 g NaHCO_3 ısıtıldığında açığa çıkan CO_2 gazının hacmini litre cinsinden hesaplayınız. (b) Amonyum bikarbonat da (NH_4HCO_3) aynı amaç için kullanılmaktadır. Sodyum bikarbonat yerine amonyum bikarbonat kullanılmasının üstünlük ve eksikliklerini belirtiniz.
- 5.106 1.00 cm^2 kesit alanına sahip bir barometre deniz seviyesinde 76.0 cm cıva basıncı ölçer. Bu basınç, dünya yüzeyindeki 1 cm^2 alana bütün havanın yaptığı basınca eşittir. Cıvanın yoğunluğu 13.6 g/mL ve dünyanın ortalama yarıçapı 6371 km'dir. Dünya atmosferinin toplam ağırlığını kilogram cinsinden hesaplayınız. (İpucu: Kürenin yüzey alanı $4\pi r^2$ dir; r kürenin yarıçapıdır.)
- 5.107 Bazı ticari kanal temizleyicileri iki bileşen içerir: sodyum hidroksit ve alüminyum tozu. Karışımı tıkanmış kanala döküldüğünde aşağıdaki tepkime gerçekleşir:
- $$2\text{NaOH}(suda) + 2\text{Al}(k) + 6\text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow 2\text{NaAl}(\text{OH})_4(suda) + 3\text{H}_2(g)$$
- Tepkimede açığa çıkan ısı, yağ gibi tıkaçıcıların erimesine yardımcı olur ve hidrojen gazı kanalı tıkayan katıları hareketlendirir. 3.12 g Al, aşırı miktarda NaOH ile tepkimeye girdiğinde oluşan H_2 gazının hacmini STP'de hesaplayınız.
- 5.108 Saf HCl gazının 25°C ve 108 mmHg'daki hacmi 189 mL'dir. HCl gazı 60 mL suda tamamen çözül-miş ve NaOH çözeltisi ile titre edilmiştir. HCl 'yi

nötralleştirmek için 15,7 mL NaOH kullanılmıştır. NaOH çözeltisinin derişimini hesaplayınız.

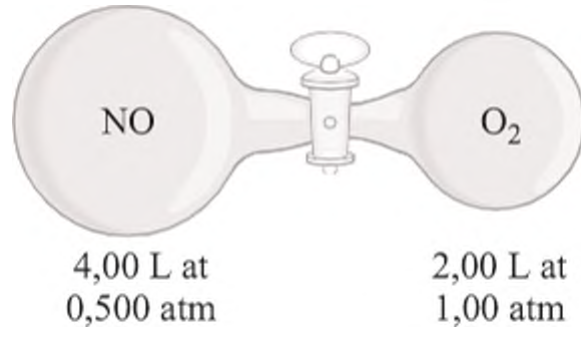
- 5.109 Propan (C_3H_8), karbon dioksit ve su buharı vermek üzere oksijenle yanar. (a) Bu tepkime için denkleştirilmiş eşitliği yazınız. (b) 7.45 g propandan üretilen karbon dioksit hacmini STP'de hesaplayınız.
- 5.110 Aşağıdaki düzeneği göz önünde bulundurunuz. Musluk açıldıktan sonra helyum ve neon'un kısmi basınçlarını hesaplayınız. Sıcaklık $16^\circ C$ 'de sabittir.



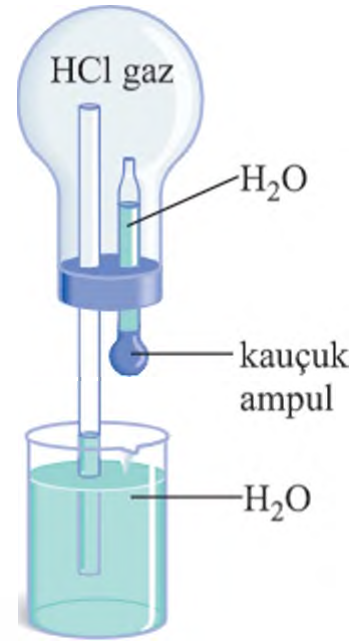
- 5.111 Azot monoksit (NO) ile moleküler oksijen aşağıdaki gibi tepkimeye girer:



Başlangıçta şekilde görüldüğü gibi NO ve O_2 ayrı kaplardadır. Musluk açıldığında, tepkime hemen sonlanır. Tepkime sonunda hangi gazın arttığını ve ortamda bulunan gazların kısmi basınçlarını hesaplayınız. Sıcaklığın $25^\circ C$ 'de sabit kaldığını varsayınız.



- 5.112 Şekildeki düzeneği göz önünde bulundurunuz. Camın içine damlalığı sıkarak bir miktar su verildiğinde, beherde bulunan su uzun cam boru boyunca yukarıya doğru hareket eder. Bu gözlemi açıklayınız. (İpucu: Hidrojen klorür gazı suda çözünür.)

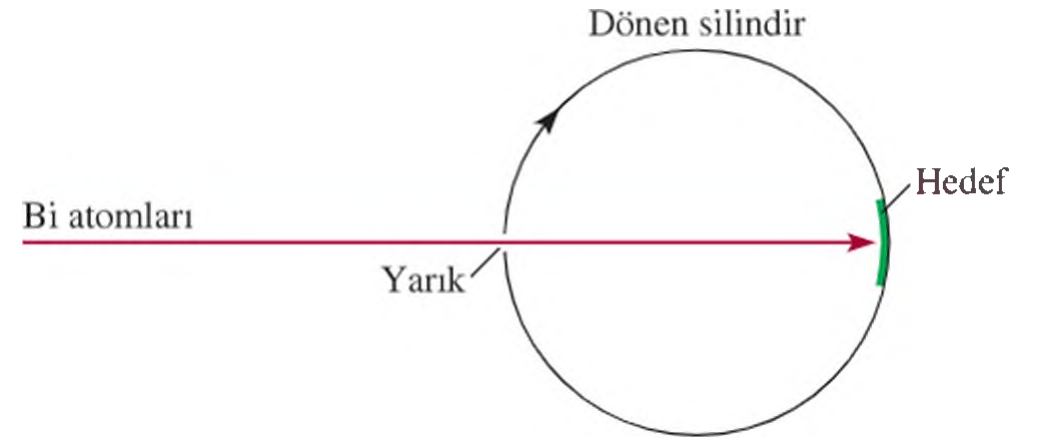


- 5.113 Kimyasal veya fiziksel yollarla, aşağıdaki gaz karışımlarının kısmi basınçlarını nasıl ölçersiniz. (a) CO_2 ve H_2 . (b) He ve N_2 .

- 5.114 $MgSO_4 \cdot xH_2O$ belirli bir hidrat formülüne sahiptir. Bileşiğin 54,2 g'lık miktarı suyunu uzaklaştırmak için bir fırın içerisinde ısıtılır. Uzaklaştırılan suyun oluşturduğu buhar, 2,00 L'lik kapta $120^\circ C$ 'da 24.8 atm'lik bir basınç oluştursa suyun katsayısı x 'i hesaplayınız.

- 5.115 Kütlesi 7.63 g olan Na_2CO_3 ve $MgCO_3$ karışımı aşırı hidroklorik asit ile tepkimeye sokulur. 1.24 atm ve $26^\circ C$ 'da üretilen CO_2 gazının hacmi 1.67 L'dir. Bu verilerden karışımdaki Na_2CO_3 'ün kütlece yüzde bileşimini hesaplayınız.

- 5.116 Aşağıdaki şekilde gösterilen düzenek ile atom ve molekül hızları ölçülebilir. Metal atomları demetinin vakum içerisindeki döner silindire gönderildiğini düşünelim. Silindirdeki küçük yarık atomların hedef bölgeye çarpmasına izin verir. Silindir devamlı döndüğü için farklı hızlarda hareket eden atomlar, hedefe farklı konumlarda çarparlar. Zamanla hedef alan üzerinde bir metal tabaka birikir ve tabakanın kalınlığındaki fark Maxwell hız dağılımına uyar. Bir deneyde, $850^\circ C$ 'da bizmut (Bi) atomları hedefi yarığın tam karşısından 2.8 cm uzaklıkta vurmuştur. Silindirin çapı 15.0 cm ve dönüş hızı 130 tur/saniye olarak verilmiştir. (a) Hedefin dönüş hızını (m/s) hesaplayınız. (İpucu: Çemberin çevresi $2\pi r$ 'dir ve r , çemberin yarıçapıdır.) (b) Hedefin 2.80 cm hareketi için gereken süreyi (saniye) hesaplayınız. (c) Bizmut atomlarının hızını belirleyiniz. (c) de bulduğunuz sonucu bizmutun $850^\circ C$ 'daki U_{rms} değeri ile karşılaştırınız. Farkı yorumlayınız

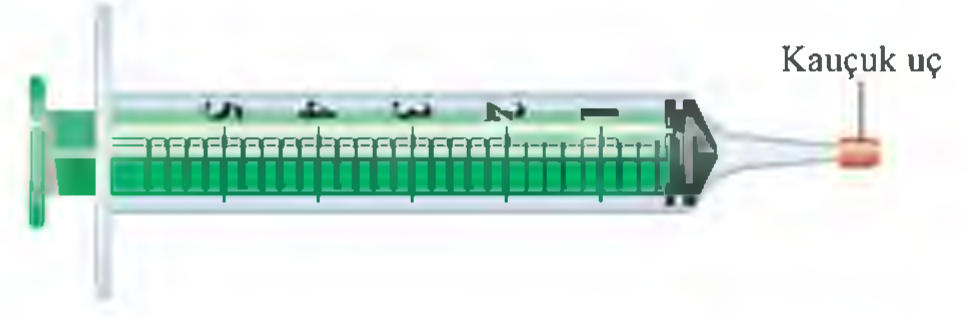


- 5.117 $65^\circ C$ 'da 2,500 L'lik balona konulan 10,00 g suyun oluşturduğu buharın kütesini hesaplayınız. (İpucu: Kalan sıvı suyun hacmi ihmal edilebilir olduğunu varsayınız; $65^\circ C$ 'da suyun buhar basıncı: 187.5 mmHg'dır.)

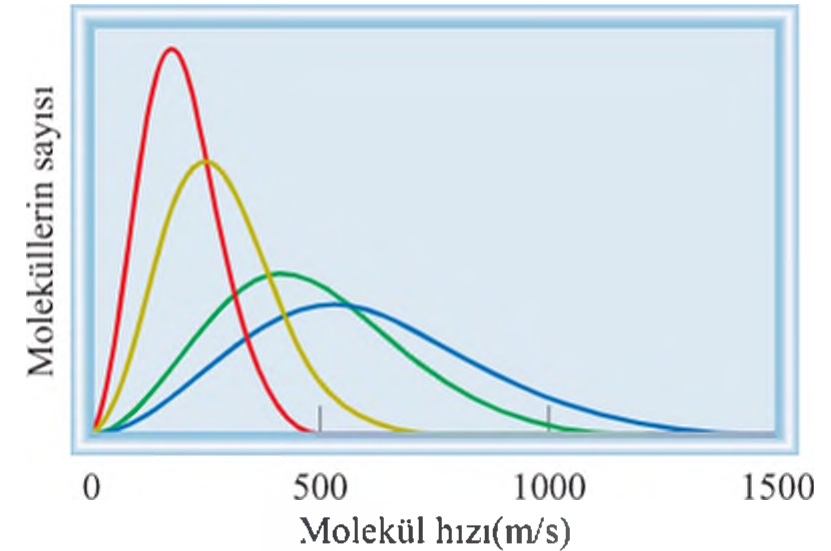
- 5.118 Ticari olarak, sıkıştırılmış oksijen çelik tüplerde satılır. 120 L'lik bir çelik tüp $22^\circ C$ 'da 132 atmosferlik basınç altında oksijen ile doldurulursa, oksijenin kütesi (g) nedir? 1 atm ve $22^\circ C$ 'da oksijenin hacmi kaç litredir. (gazın ideal davrandığını varsayınız)

- 5.119 Haşlanmış yumurta kabukları yüksek sıcaklıklarda hızlı termal genleşme nedeniyle bazen çatlar. Kabukların çatlamasına neden olan bir başka sebep daha öneriniz.
- 5.120** Etilen gazının (C_2H_4) meyveler tarafından yayıldığı ve meyvelerin olgunlaşmasından sorumlu olduğu bilinmektedir. Muzun kapalı bir kâsede, bir kâğıt torbada olduğundan daha hızlı olgunlaşmasının dayandığı temeli açıklayınız.
- 5.121 Yıllık, yaklaşık 8.03×10^6 ton üre $[(NH_2)_2CO]$ gübre olarak kullanılır. Üre, $200^\circ C$ 'da yüksek basınç altında karbon dioksit ve amonyaktan elde edilir(üre ve buhar olarak). 150 atm'de 1,0 ton üre hazırlamak için gerekli amonyağın hacmini (litre olarak) hesaplayınız.
- 5.122** Bazı tükenmez kalemelerin ana gövdesinde küçük bir delik vardır. Bu deliğin rolü nedir?
- 5.123 Gaz yasaları dalgıçlar için hayati öneme sahiptir. Deniz suyunun 33 ft'de uyguladığı basınç 1 atm basınca eşdeğerdir. (a) Bir dalgıçın 33 ft derinlikten suyun yüzeyine nefes vermeksizin hızlı bir şekilde yükseldiğinde ciğerlerindeki gazı düşündünüz. Yüzeye ulaştığı zaman ciğerlerinin hacmi kaç kat artar? Sıcaklığın değişmediğini varsayınız. Havadaki oksijenin kısmi basıncı yaklaşık 0.20 atm'dir. (Havanın hacimce yüzde 20'si oksijendir.) Derin deniz dalgıçlarında, dalgıçın kullandığı havanın bileşimi bu kısmi basıncı korumak için değiştirilmelidir. Dalgıça uygulanan toplam basınç 4,0 atm olduğunda oksijen içeriği (hacimce yüzde olarak) ne olmalıdır? (Sabit sıcaklık ve basınçta bir gazın hacmi gazların mol sayıları ile doğru orantılıdır.) (İpucu: sayfa 200'deki "Kimya İşbaşında" makalesine bakınız.)
- 5.124** Azot oksit (N_2O) amonyum nitratın (NH_4NO_3) termal buzunmasından elde edilir. (a) Tepkime için denkleştirilmiş eşitiğini yazınız. (b) Bir deneyde öğrenci, $24^\circ C$ ve 718 mmHg'da elde edilen gazın gazın hacmini 0.340 L bulmuştur. Gaz 0.580 g ağırlığında ise gaz sabitinin değerini hesaplayınız.
- 5.125 İki kap A ve B olarak etiketlenmiştir. A kabı $70^\circ C$ 'da NH_3 gazı, B kabı ise aynı sıcaklıkta He gazı ihtiva ediyor. NH_3 'ün ortalama kinetik enerjisi 7.1×10^{-21} J/molekül ise Ne atomlarının hız karelerinin ortalamasını m^2/s^2 cinsinden hesaplayınız.
- 5.126** Aşağıdaki moleküllerden hangisinin α değeri en büyüktür: CH_4 , F_2 , C_6H_6 , Ne?
- 5.127 Aşağıda uygulanan işlem, bir gazın mol kütleini ölçmek için basit ancak yaklaşık bir yöntemdir. 0.0184 g kütleli bir sıvı, şırınga ile şekilde gösterildiği gibi şırınga içerisine çekilir. şırınga iğnesinin ucu kauçukla kapatılır. Daha sonra şırınga $45^\circ C$ 'a ısıtılmış ısı-ban-

yosuna konur ve sıvı buharlaşır. Buharın son hacmi (pistonun dışarı doğru hareketi ile ölçülen) 5,58 mL ve atmosfer basıncı 760 mmHg'dir. Bileşiğin kaba formülü CH_2 ise, mol kütleleri nedir?

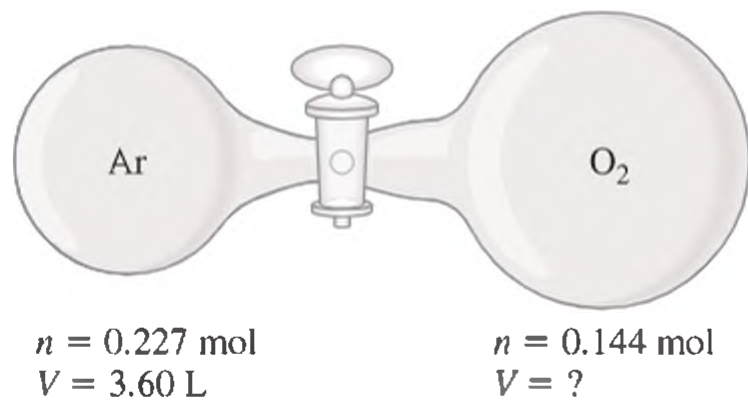


- 5.128** 1995 yılında İngiltere'de bir adam terkedilmiş bir madende yürürken, o sırada havadaki bir değişiklik nedeniyle atmosfer basıncında ani bir düşüş meydana geliyor ve adamı boğuluyor. Adamın ölümüne sebep olan şey ne olabilir.
- 5.129 Karbon dioksit gibi asit oksitler, kalsiyum oksit (CaO) ve baryum oksit (BaO) gibi basik oksitler ile tepkimeye girerek tuz (metal karbonat) oluştururlar. (a) Bu iki tepkimenin denklemini yazınız. (b) Bir öğrenci, $35^\circ C$ 'da ve 746 mmHg basınçta karbon dioksit içeren 1,46 L hacimli bir cam kaba, toplam kütleli 4.88 g olan BaO ve CaO karışımı eklemiştir. Tepkimeler gerçekleştikten sonra, CO_2 basıncının 252 mmHg'ya düştüğünü görmüştür. Karışımın yüzde bileşimini hesaplayınız. Katıların hacimlerinin ihmal edildiğini varsayınız.
- 5.130** Aşağıda gösterilen Maxwell hız dağılım eğrilerinin Br_2 , CH_4 , N_2 ve SO_3 gazlarından hangilerine ait olduğunu belirleyiniz.



- 5.131 Çalışan bir otomobil motoru saatte 188 g zehirli karbon monoksit (CO) gazı oluşturur. Bu araba $20^\circ C$ 'da yeterince havalandırılmayan 6 m uzunluğunda, 4 m genişliğinde ve 2.2 m yüksekliğinde bir garajda rö-lantide çalışır şekilde bırakılmıştır. (a) CO 'nin oluşma hızını (mol/dak) hesaplayınız. (b) CO 'in öldürücü derişimini olan 1000 ppmv (hacimce milyonda bir) değerine ne kadar sürede ulaşılır?
- 5.132** Yıldızlar arası alan daha çok hidrojen atomu içerir ve bu alan yaklaşık 1 atom/cm³ derişiminde hidrojen

- atomu içerir. (a) H atomları basıncını hesaplayınız. (b) 3 K'de 1.0 g H atomu içeren örneğin hacmini (L) hesaplayınız.
- 5.133 Mt Everest'in zirvesinde atmosfer basıncı 210 mmHg ve havanın yoğunluğu 0.426 kg/m^3 dir. (a) Havanın mol kütlesi 29.0 g/mol olduğu göz önüne alınarak havanın sıcaklığını hesaplayınız. (b) Havanın bileşiminde herhangi bir değişiklik olmadığını kabul ederek deniz seviyesinden Mt. Everest'in zirvesine çıkıldığında oksijen gaz oranındaki yüzde azalmayı hesaplayınız.
- 5.134 Bağıl nem oranı, belirli bir sıcaklıkta, havadaki su buharı kısmi basıncının denge buhar basıncına (bak. Çizelge 5.3) oranı (yüzde olarak) olarak tanımlanır. Kuzey Carolina'da bir yaz gününde havadaki su buharının 30°C 'da kısmi basıncı $3.9 \times 10^3 \text{ Pa}$ 'dır. Bağıl nem oranını hesaplayınız.
- 5.135 Aynı sıcaklık ve basınç altında, neden bir litre nemli havanın ağırlığı bir litre kuru havanınkinden daha azdır? Hava tahminlerinde, yaklaşan bir alçak basınç genellikle yakın bir yağışın öncüsü anlamına gelir. Bu durumu açıklayınız.
- 5.136 Akciğere giren hava küçük kesecikler olan alveollere kadar ulaşır. Oksijen kana alveollerden geçer. Bir alveolün ortalama yarıçapı 0.0050 cm 'dir ve içindeki hava %14 oksijen içerir. Alveoldeki basıncı 1.0 atm ve sıcaklığı 37°C kabul ederek, bir alveolde bulunan oksijen moleküllerinin sayısını hesaplayınız. (İpucu: Kürenin hacmi $4/3\pi r^3$ 'dür, r kürenin yarıçapıdır.)
- 5.137 Öğrenci bir termometreyi kırar ve 15.2 m uzunluğunda, 6.6 m genişliğinde ve 2.4 m yükseklikteki bir laboratuvar zeminine cıvanın (Hg) çoğu dökülür. (a) 20°C sıcaklıkta, buharlaşan cıvanın kütlesini (g olarak) hesaplayınız (20°C 'da cıvanın buhar basıncı $1.7 \times 10^{-6} \text{ atm}$ 'dir) (b) Bu değer, hava kalitesinin korunması yönetmenliğine göre havada maksimum izin verilen 0.050 mg Hg/m^3 derişimini aşmakta mıdır? (c) Az miktarlarda dökülen cıvanın etkisini yok etmenin bir yolu üzerine kükürt tozu serpmektir. Bu olayı fiziksel ve kimyasal yönden açıklayınız.
- 5.138 Başlangıçta şekilde görüldüğü gibi Ar ve O_2 ayrı kaplardadır. Musluk açıldıktan sonra, karışan gazların basıncı 1.08 atm 'dir. Sağdaki kabın hacmini hesaplayınız. Sıcaklığın 20°C 'da sabit kaldığını ve gazların ideal davrandığını varsayınız.
- 5.139 Gaz fazında azot dioksit (NO_2), içerisinde NO_2 ve N_2O_4 bulunduğundan, saf olarak elde edilemez. 25°C ve 0.98 atm 'de, bu gaz karışımının yoğunluğu 2.7 g/L 'dir. Herbir gazın kısmi basıncı nedir?
- 5.140 Sayfa 208'deki "Kimya İşbaşında" makalesi, rubidyum buharının $1.7 \times 10^{-7} \text{ K}$ 'e kadar soğutulmasını anlatmaktadır. Bu sıcaklıkta bir Rb atomunun ortalama kinetik enerjisini ve hız karelerinin ortalamasının karekökünü hesaplayınız.
- 5.141 Lityum hidrür su ile aşağıdaki tepkimeyi verir:
- $$\text{LiH}(k) + \text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow \text{LiOH}(suda) + \text{H}_2(g)$$
2. Dünya Savaşı sırasında, Birleşik Devletler pilotları LiH tabletleri taşımışlardır. Bunun nedeni, denize düşmeleri durumunda, LiH ile deniz suyunun tepkimesi sonucu oluşan hidrojen gazıyla can yeleği ve cankurtaran botunun şişmesini sağlamaktır. 12°C sıcaklık ve 0.97 atm basınçta 4.1 L hacimli bir cankurtaran yeleğini şişirmek için kaç gram LiH gerekmektedir?
- 5.142 Mars atmosferinin ana bileşeni karbon dioksittir. Yüzey sıcaklığı 220 K ve atmosfer basıncı yaklaşık olarak 6.0 mmHg 'dir. Bu değerleri Mars'daki STP kabul ederek, Mars'da bir mol ideal gazın hacmini (L) hesaplayınız.
- 5.143 Ventüs atmosferi hacimce % 96.5 CO_2 , % 3.5 N_2 , ve % 0.015 SO_2 'den oluşur. Standart atmosfer basıncı $9.0 \times 10^6 \text{ Pa}$ 'dır. Paskal cinsinden gazların kısmi basınçlarını hesaplayınız.
- 5.144 Bir öğrenci sayfa 191'de gösterilen ampulün hacmini bulmaya çalışıyor. Onun sonuçlarına göre, 23°C ve 744 mmHg basınçta kuru hava ile dolu ampulün kütlesi $= 91.6843 \text{ g}$ 'dır. Havası boşaltılmış ampulün kütlesi $= 91.4715 \text{ g}$ 'dır. Havanın bileşimi % 78 N_2 , % 21 O_2 ve % 1 argon'dur. Ampulün hacmi (mL) nedir? (İpucu: Problem 3.152'de gösterildiği gibi önce havanın ortalama mol kütlesini hesaplayınız.)
- 5.145 Gazların kinetik kuramı ile ilgili bilgilerinizi, aşağıdaki verilen durumlara uygulayınız. (a) Hacimleri V_1 ve V_2 olan ($V_2 > V_1$) aynı sıcaklıktaki iki cam kaptaki helyum atomlarının hız kareleri ortalamasının karekökünü (rms) ve ortalama kinetik enerjilerini karşılaştırmayınız. (ii) Helyum atomlarının kap çeperlerine çarpma frekansı ve çarpma kuvvetlerini karşılaştırmayınız. (b) Aynı hacme sahip T_1 ve T_2 sıcaklığında ($T_2 > T_1$) iki cam kaptaki helyum atomları vardır. (i) İki cam kaptaki helyum atomlarının U_{rms} lerini karşılaştırmayınız. (ii) Helyum atomlarının kap çeperlerine çarpma frekanslarını ve çarpma kuvvetlerini karşılaştırmayınız. (c) Eşit hacimli iki cam kaptaki 74°C 'da eşit sayıda helyum ve neon atomları vardır. Şu ifadelerin geçerliliğini yorumlayınız: (i)



Helyum ve neonun U_{rms} leri eşittir. (ii) Her iki gazın ortalama kinetik enerjileri eşittir. (iii) Her bir helyum atomunun U_{rms} değeri 1.47×10^4 m/s dir.

- 5.146** Aldığımız her nefesin, ortalama olarak, Wolfgang Amadeus Mozart'ın (1756-1791) bir kerede verdiği nefesteki kadar molekül içerdiği söylenmektedir. Aşağıdaki hesaplamalar bu ifadenin geçerliliğini göstermektedir. (a) Atmosferde bulunan toplam molekül sayısını hesaplayınız. (*İpucu:* Problem 5.91'deki sonuçları ve havanın mol kütlelerini, 29 g/mol, kullanınız). (b) Her nefesin (alma veya verme) 500 mL hacme sahip olduğunu varsayarak, insanın vücut sıcaklığında (37°C) verilen her nefesteki molekül sayısını hesaplayınız. (c) Mozart'ın yaşam süresi tam olarak 35 yıl alınırsa, bu sürede verdiği nefeslerdeki toplam molekül sayısını hesaplayınız (Bir insan dakikada ortalama 12 defa nefes alır). (d) Mozart tarafından nefesle verilen moleküllerin sayısının atmosferde bulunan toplam molekül sayısına oranını hesaplayınız. Her nefes alışımızda kaç tane Mozart molekülünü içimize çekmekteyiz? Cevabımızı bir anlamlı rakama yuvarlayınız. (e) Bu hesaplamalardaki üç önemli varsayımı belirtiniz.
- 5.147 He atomları hangi sıcaklıkta, 25 °C'da N₂ molekülünün sahip olduğu u_{rms} değerine sahip olur?
- 5.148** İdeal gaz gibi davrandığını kabul ederek, 1.0 atm ve 100°C'de su buharı molekülleri arasındaki uzaklığı (nanometre) hesaplayınız. Bu hesaplamayı 100°C'da sıvı su için tekrarlayınız (bu sıcaklıkta suyun yoğunluğu 0.96 g/cm³ dir). Sonuçlarınızı yorumlayınız. (Su molekülünü küresel farzederek, çapını 0.3 nm olarak alınız). (*İpucu:* önce su moleküllerinin sayıca yoğunluğunu hesaplayınız. Sonra, sayıca yoğunluğu bir yöndeki molekül sayısını veren doğrusal yoğunluğa çeviriniz).
- 5.149 Soy gazlardan hangisi hiçbir koşulda ideal davranış göstermez? Neden?
- 5.150** Barometrik formül olarak bilinen bir bağıntı ($P = P_0 e^{-\rho gh/RT}$), yükseklik ile atmosfer basıncının değişimini değerlendirmede oldukça kullanışlıdır. Bu eşitlikteki, P ve P_0 sırasıyla h yüksekliğindeki ve deniz seviyesindeki basınçlar olup g ise yer çekim ivmesidir (9.8 m/s²). Eşitlikteki M , havanın ortalama mol kütle (29.0 g/mol). R gaz sabitidir. 5 °C sabit sıcaklık ve $P_0 = 1.0$ atm koşullarında 5.0 km yükseklikteki atmosferde basıncı hesaplayınız.
- 5.151 5.72 gramlık grafit numunesi 68.4 g O₂ ile 8.00 litrelik bir balonda ısıtılıyor.

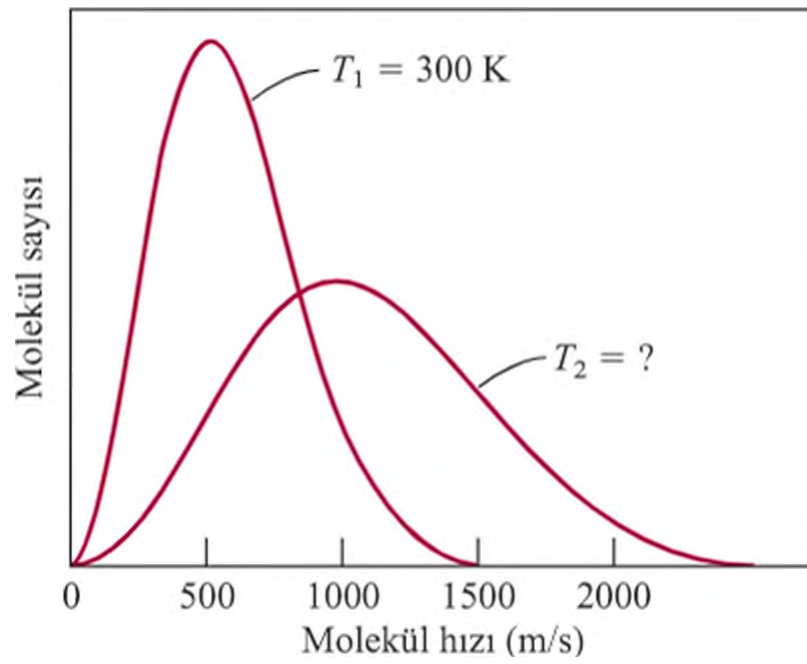


Tepkime tamamlandıktan sonra, balonun içindeki sıcaklık 182 °C olduğuna göre, toplam basınç nedir?

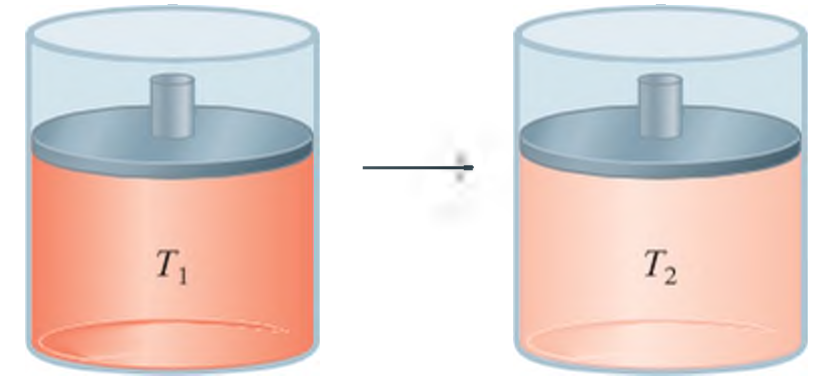
- 5.152** Belirli bir sıcaklıkta, eş molar H₂ ve D₂ karışımı küçük bir delikten efüzleniyor. Delikten geçen gazların bileşimini (mol kesri olarak) hesaplayınız. D₂'nin mol kütlesi 2.014 g/mol'dur.
- 5.153 6.26 g'lık kalsiyum karbonat (CaCO₃) ve magnezyum karbonat (MgCO₃) içeren numunenin tamamı hidroklorik asit (HCl) ile tepkimeye girerek 48 °C ve 1.12 atm'de 1.73 L CO₂ oluşturuyor. Karışımın kütlece yüzdesini hesaplayınız.
- 5.154** 6.11 g Cu-Zn alaşım örneğinin HCl ile tepkimesinden hidrojen gazı üretilir. 22 °C ve 728 mmHg basınçta hidrojen gazının hacmi 1.26 L ise, alaşımdaki Zn'nin yüzde bileşimi nedir? (*İpucu:* Cu hidroklorik asit ile tepkime vermez)
- 5.155 Bir depo şefi, 25.0 galonluk kısmen dolu bir aseton varilinin içeriğini, atmosfer basıncının 750 mmHg olduğu 18°C'daki bir günde hesaplar ve 15.4 galon aseton kaldığını bulur. Varil mühürlendikten sonra, bir asistan, varili organik laboratuvarına çıkarırken düşürür. Varil ezilmiş ve bundan dolayı iç hacmi 20.4 galona düşmüştür. Kazadan sonra varil içindeki toplam basınç nedir? Asetonun 18°C'da buhar basıncı 400 mmHg'dır. (*İpucu:* Varil mühürlendiğinde, varil içindeki basınç hava ve asetonun toplam basıncına eşit olup bu basınç da atmosfer basıncına eşittir.)
- 5.156** 29.7 mL He 2.00 dakikada küçük bir delikten efüzleniyor. Aynı sıcaklık ve basınç altında 10 mL CO ve CO₂ karışımı aynı sürede efüzleniyor. Karışımın hacimce yüzde bileşimini hesaplayınız.
- 5.157 Şekil 5.22'deki çizime bakarak (a) Neden gazlara ait eğriler düşük basınçlarda yükselmeden önce yatay gösterilen ideal gaz çizgisinin altında inişe geçer ve daha sonra bu çizginin üstünde yükselir? (b) Neden çok düşük P 'de hepsi 1'e doğru yaklaşır? (c) İdeal gaz çizgisinde kesişme noktası ne anlam ifade eder? Bu nokta, gazın ideal olduğu anlamına mı gelir?
- 5.158** Metan (CH₄) ve etan (C₂H₆) karışımı 294 mmHg basınç altında bir kap içerisinde saklanır. Gazlar havada yakıldığında CO₂ ve H₂O oluşur. Aynı başlangıç sıcaklığı ve hacim koşulunda, CO₂ basıncı 356 mmHg ölçüldüğüne göre gazların mol kesrini hesaplayınız.
- 5.159 Gazların kinetik teorisini kullanarak ısıyan havanın neden yükseldiğini açıklayınız.
- 5.160** van der Waals denklemindeki b 'nin fiziksel anlamını kavramanın bir yolu, ihmal edilen hacmi hesaplamaktır. Benzer iki atom arasındaki en yakın mesafenin bu atomların yarıçapları toplamı (2r) olduğunu varsayalım. (a) Bir atom diğer bir atomun

merkezine nüfuz edemeyeceğinden herbir atomun çevresindeki hacmi hesaplayınız. (b) elde ettiğiniz (a)'daki sonuçtan 1 mol atom için ihmal edilen hacmi hesaplayınız (bu b sabitidir). İhmal edilen bu hacmi 1 mol atomun toplam hacmi ile karşılaştırınız?

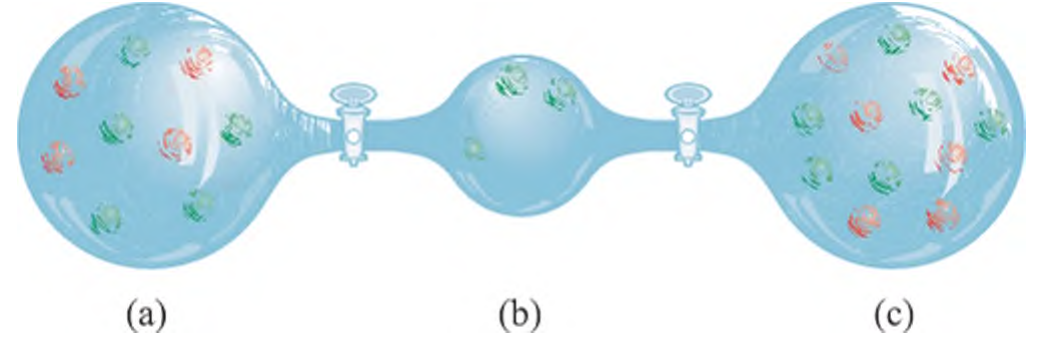
- 5.161 Çizelge 5.4'de verilen van der Waals sabitlerini kullanarak pikometre cinsinden argonun yarıçapını hesaplayınız. (İpucu: Problem 5.160'a bakınız.)
- 5.162 Aynı sıcaklıkta hız karelerinin ortalamasının karekökü, hidrojen iyodürün (HI) 2.82 katı olan gazı belirleyiniz.
- 5.163 5,00 mol NH_3 örneği 300 K'de 1,92 L'lik bir kap içinde muhafaza ediliyor. İdeal gaz eşitliğini ve van der Waals eşitliğini kullanarak gazın basıncını ve yüzde hatayı hesaplayınız.
- 5.164 Belirli bir gaz oksitin 20 °C'de hız karelerinin ortalamasının karekökü 493 m/s'dir. Bileşiğin molekül formülü nedir?
- 5.165 Şekil 5.17'de herbir hız dağılım eğrisinin tepe noktası en çok molekül sayısına sahip olduğundan, olası en büyük hız (U_{mp}) sahip molekülleri gösterir. Bu $u_{mp} = \sqrt{2RT/M}$ ile verilir. (a) 25°C'da azotun U_{mp} değeri ile U_{rms} değerini karşılaştırmış. (b) Aşağıdaki diyagram ideal bir gazın T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki Maxwell hız dağılımını gösterir. T_2 değerini hesaplayınız.



- 5.166 Bir gaz tepkimesi, sabit basınç ve hacimde aşağıda gösterilen bir silindir içerisinde gerçekleşir. Aşağıdaki denklemlerden hangisi tepkimeyi en iyi tanımlar? Başlangıç sıcaklığı (T_1) son sıcaklığın (T_2) iki katıdır.
- (a) $A + B \longrightarrow C$
- (b) $AB \longrightarrow C + D$
- (c) $A + B \longrightarrow C + D$
- (d) $A + B \longrightarrow 2C + D$



- 5.167 350 K ve 6,63 atm'de hacmi 20,2 L olan bir kap içinde gaz halindeki bir hidrokarbon örneği (C ve H atomları içeren) 205,1 g CO_2 ve 168,0 g H_2O oluşturmak üzere aşırı oksijen ile tepkime verir. Hidrokarbonun molekül formülü nedir?
- 5.168 Şekilde görüldüğü gibi, A (kırmızı) ve B (yeşil) gazlarını içeren üç balon bulunmaktadır. (i) (a)'nın basıncı 4,0 atm ise (b) ve (c)'nin basıncı nedir? (ii) Musluklar açıldıktan sonra herbir gazın kısmi basıncını ve toplam basıncını hesaplayınız. (a) ve (c)'nin hacmi 4,0 L (b)'nin hacmi 2,0 L'dir. Sıcaklık sistemin her tarafında aynıdır.



Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

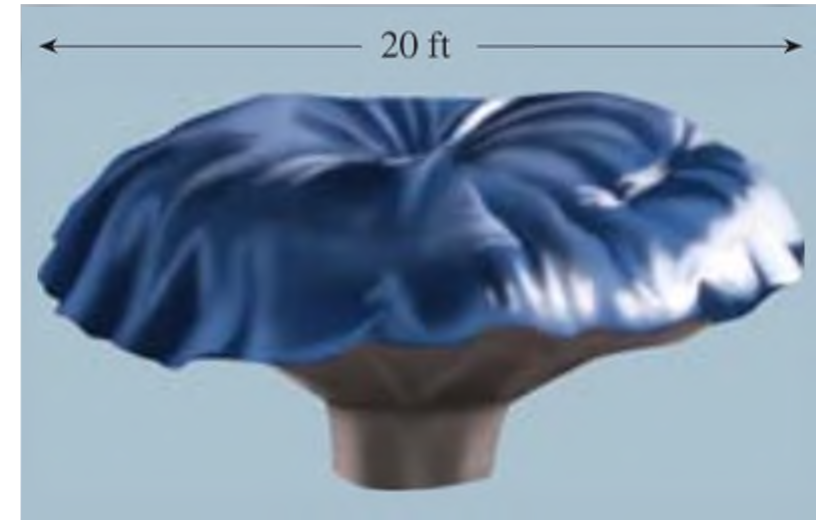
- 5.171 Hangisi daha büyük kütleye sahiptir: Belirli bir T ve P'de bulunan V hacmindeki hava numunesi mi, yoksa aynı hacimli aynı sıcaklık ve basınçtaki hava artı su buharı içeren numune mi?
- 5.172 14,5 L hacimli bir balonda 1.25 mol helyum bulunmaktadır. He atomları arasındaki ortalama mesafeyi (nanometre cinsinden) tahmin ediniz.
- 5.173 Hiperbarik oksijen tedavisi (HBOT) yanıklar, kan akışını engelleyen ezilme yaralanmaları ve karbon monoksit zehirlenmesi gibi dokuya zarar veren enfeksiyonların tedavisinde çok etkilidir. Bununla birlikte, diğer hastalıklara (örneğin otizm, çoklu doku sertleşmesi) uygulanmasında bazı tartışmalara yol açmıştır. Aşağıda tipik bir oksijen hiperbarik oda gösterilmiştir. HBOT altı atmosfer basınçta kadar çıkılmasına rağmen daha çok düşük basınçlarda uygulanmaktadır. (a) Bu oda 3 atm basınçta saf oksijen ile doldurulsa, kaç mol oksijen ihtiva eder. (b) Tamamen dolu bir tankın 2500 mol oksijen içerdiği göz önüne alındığında, tek bir oksijen tankı ile oda kaç kere doldurulabilir.



- 5.174 (a) Floresan ampul çok küçük bir miktarda civa içerir ve bu civa buharı yaklaşık 1×10^{-5} atm'lik bir basınç sağlar. Hg atomları elektrik ile uyarıldığı zaman UV ışığı yayar ve bu ışık tüpün iç yüzeyini kaplayan fosfor'u uyararak görünür beyaz ışık yayar. İşyerlerindeki, uzun ince floresan tüpte bulunan civa

buharının kütlesini tahmin ediniz. (b) Evlerde kullanılan sıradan tungsten ampuller, tungstenin süblimleşmesini önlemek için yaklaşık 0.5 atm'lik argon gazı ile doldurulur. Böyle bir ampul içindeki argon gazının mol sayısını tahmin ediniz.

- 5.175 (a) Aynı sıcaklıkta, bir bisiklet lastiğini 5.0 atm basınçta hava ile doldurmak için kullanılan 1.0 atm ve 22 °C'daki havanın hacmini hesaplayınız (5.0 atm'ın, göstergede izlenen basınç olduğunu ve lastiğin içindeki basınç ile atmosfer basıncı arasındaki fark olduğunu unutmayınız.) (b) Lastik, el pompası kullanılarak 1.0 atm basınçta sahip hava ile pompa içindeki havanın tamamının lastik içerisine sıkıştırılmasıyla doldurulur. Pompanın hacmi, lastiğin hacminin yüzde 33'ü ise pompanın üç tam vuruşu sonrası lastiğin gösterge basıncı ne olur?
- 5.176 15 Ekim 2009 tarihinde şöyle bir olay oldu. Ev yapımı bir helyum balonu serbest bırakılarak ve 6 yaşındaki bir çocuğun balon ile sürüklenerek gittiğine, yetkililer inandırılmak istendi (olayın daha sonra bir aldatmaca olduğu ortaya çıktı). Balon 50 milden daha fazla hareket ettikten sonra 7000 ft yüksekliğe ulaştı ve şekli ile genişliği aşağıdaki gösterimdeki gibi oldu. Havalanan bu balon ne kadar ağırlığı kaldırabilir? (Bir helyum balonu, balonun içerdiği helyumun kütlesi ile aynı balonun hava ile dolu düştüğündeki kütle farkı kadar bir kütleyi kaldırabilir). Sizce, bu balon gerçekten 6 yaşındaki bir çocuğu kaldırabilir mi?



Aıştırma Cevapları

5.1 0.986 atm. **5.2** 39.3 kPa. **5.3** 9.29 L. **5.4** 30.6 L.
5.5 4.46×10^3 mmHg. **5.6** 0.68 atm. **5.7** 2.6 atm.
5.8 13.1 g/L. **5.9** 44.1 g/mol. **5.10** B_2H_6 . **5.11** 96.9 L.
5.12 4.75 L. **5.13** 0.338 M. **5.14** CH_4 : 1.29 atm; C_2H_6 :

0.0657 atm; C_3H_8 : 0.0181 atm. **5.15** 0.0653 g.
5.16 321 m/s. **5.17** 146 g/mol. **5.18** 30.0 atm;
45.5 atm ideal gaz eşitliğinden.

Oksijen Azalması[†]

Eylül 1991’de, dört erkek ve dört kadın başka bir gezegende kullanılabilecek bir koloni modeli tasarlama ve inşa etme fikrini test etmek için, kendi kendine yeten ekosisteme yani Biyosfer II olarak bilinen dünyanın en büyük cam balonuna girdiler. Biyosfer II (Dünya. Biyosfer I olarak kabul ediliyor) tropik yağmur ormanı, ova, bataklık, çöl ve tarım alanı ile tamamen kendi kendine yeterli olması için amaçlanmış 12 dönümlük mini bir dünyadır. Bu benzersiz deney 2 - 3 yıl boyunca devam etmesine rağmen, projenin tehlikeli olabileceğine ilişkin işaretler de vardı.

Cam balon kapatıldıktan kısa bir süre sonra, tesis içindeki sensörler karbon dioksitin hacimce yüzde olarak 0,035 ya da 350 ppm (ppm: milyonda bir kısım) seviyesine yükseldiğini, Biyosfer II atmosferindeki oksijen derişiminin ise hacimce yüzde 21 seviyesinden daha aşağıya düşmüş olduğunu gösterdi. Oksijen seviyesi endişe verici bir şekilde her ay yaklaşık olarak yüzde 0,5 oranında düşmeye devam ederken, karbon dioksit seviyesi artmaya devam etti. Mürettebat, denizaltılarda olduğu gibi aşırı CO₂’i uzaklaştırmak için elektrikle çalışan, kimyasal temizleyicileri devreye soktu. Kademeli olarak 4000 ppm’de sabitleştirilen CO₂ seviyesi hala yüksekti, ancak tehlikeli değildi. Buna karşın oksijen kaybı durmadı. Ocak 1993’e kadar 16 ay boyunca, oksijen derişiminin yüzde 14’e düştüğü ve bu oranın 4360 m (14,300 ft) yükseklikteki bir havada bulunan O₂ derişimine eşdeğer olduğu anlaşıldı. Bu arada mürettebat normal görevlerini yerine getirmekte problem yaşamaya başladı. Buna göre onların güvenliği için Biyosfer II içerisine saf oksijen pompalamak gerekiyordu.

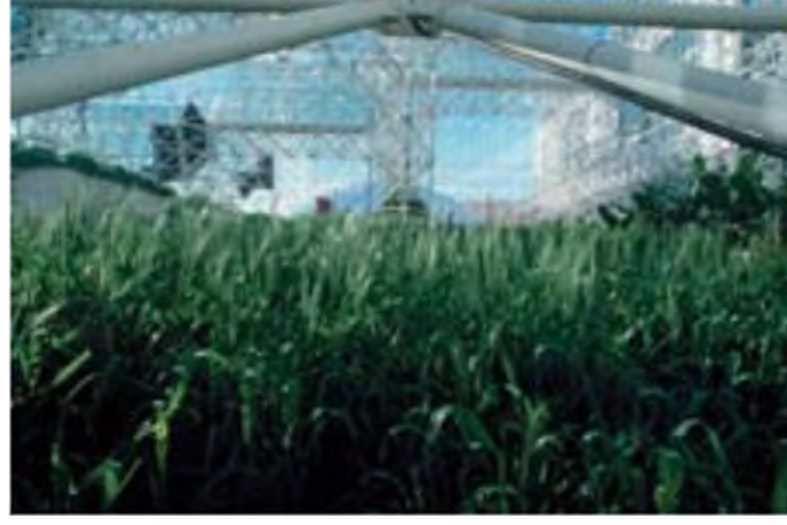
Biyosfer II içinde bulunan bitkilerin tamamının fotosentezi sonucuna oksijen üretimi daha büyük olmalıydı. Acaba oksijen derişimi neden bu kadar düşük bir seviyeye düştü? Kaybın küçük bir kısmı beklenmeyen bulutlu havada bitkilerin genelde yavaş büyümesine bağlandı. Bir diğeri, topraktaki demirin oksijenle tepkimeye girerek demir (III) oksiti veya pası oluşturmasydı. En mantıklı hipotez ise, mikropların (mikroorganizmaların) bitki büyümesini sağlamak amacıyla toprağa ilave edilmiş olan aşırı organik maddelerin metabolik tepkimesi için oksijeni kullanılmasıydı. Durumun da zaten böyle olduğu ortaya çıktı.

Oksijendeki azalma sebebinin belirlenmesi başka bir sorunda ortaya çıkardı; metabolizma karbon dioksit üretmektedir. Ancak, mikroorganizmalar tarafından tüketilen oksijen miktarı temel alındığında, CO₂ seviyesi 40000 ppm olmalıydı ki, bu da ölçülenden 10 kat fazlaydı. Peki, bu gazın fazlası ne oldu? Bilim insanları, sudaki ve topraktaki bileşiklerin CO₂ ile tepkimelerini inceledikten sonra, Biyosfer II içindeki CO₂ kaybının gizemini anladılar. Acaba büyük miktarda CO₂ Biyosfer II içerisindeki beton tarafından mı tüketilmektedir!

Beton’un yapısı kum ve çakıl karışımından oluşmaktadır. Kum ve çakıl, bağlayıcı madde işlevi gören kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksitin bir karışımı ile bir arada tutulur. Kalsiyum hidroksit, CO₂’in bahsedilen bu gizeminde anahtar rol oynayan bir bileşendir. Betonun gözenekli yapısı içine karbon dioksit dağılır, sonra da kalsiyum karbonat ve su oluşturmak üzere kalsiyum ile tepkimeye girer.



[†]Şu kaynaktan izin alınarak uyarlanmıştır: “Biosphere II: Out of Oxygen,” by Joe Alper, CHEM MATTERS, February, 1995, p. 8. Copyright 1995 American Chemical Society.



Biyosfer II'de bitki örtüsü.

Normal koşullar altında, bu tepkime yavaş ilerler. Fakat Biyosfer içindeki CO_2 derişimi normalden çok daha fazla olduğu için tepkime çok daha hızlı ilerlemiştir. Gerçekten de, sadece 2 yıl içerisinde, Biyosfer II'nin betonunda 2 cm'den daha fazla derinliğe kadar CaCO_3 birikmiştir. Yaklaşık 10000 m^2 beton, 500000 ila 1500000 mol CO_2 'i bünyesinde saklamıştır.

Diğer yandan, Ca(OH)_2 ve CO_2 arasındaki tepkime sonucu üretilen su başka bir sorun oluşturdu: CO_2 , bu su ile karbonik asit (H_2CO_3) oluşturmak üzere tepkimeye girmiş ve oluşan karbonik asit tarafından üretilen hidrojen iyonları betondaki demir çubukları korozyona uğratarak zayıflatmıştır. Bu durumda, geçirgen olmayan bir kaplama ile tüm beton yüzeyler boyanarak su geçirmez hale getirildi.

Bu arada, toprakta daha az organik madde bulundurarak ve aynı zamanda tarım alanlarında ilave ışıklarla fotosentez artırılarak, oksijendeki düşüş (ve böylece karbon dioksitdeki artış) yavaşlatıldı. Bu proje olgunlaşmadan yarım kaldı ve 1996'da sonlandırıldı. Tesis ise bir bilim eğitimi ve araştırma merkezi haline dönüştürüldü. 2011 yılı itibarıyla, Biyosfer Arizona Üniversitesi yönetimine devredildi.

Biyosfer II deneyi, dünya ve üzerinde yaşayanlar hakkında birçok şey öğrenebileceğimiz ilginç bir projedir. Hiç bir şey olmasa bile, bu proje bize Dünya'nın ekosistemlerinin nasıl karmaşık olduğunu ve çok küçük ölçekte bile olsa doğanın taklit edilmesinin ne kadar zor olduğunu öğretmiştir.

Kimyasal İpuçları

1. Kimyasal bir işlemle karbon dioksiti uzaklaştırmak için ne kullanırız?
2. Karbonhidrat metabolizması, karbonhidratların oksijenle tepkimeye girerek karbon dioksit ve su oluşması süreci iken, fotosentez ise su ve karbon dioksiti karbonhidrat ve oksijene dönüştüren bir süreçtir. Karbonhidratları temsilen glikozu ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) kullanarak, bu iki süreci yazınız.
3. Neden Biyosfer II'den dış dünyaya O_2 difüzyonu, oksijen azalmasının olası bir nedeni olarak düşünülmedi?
4. Karbonik asit iki protonlu bir asittir. Bu asitin sudaki basamaklı ayrışmasını gösteren eşitlikleri yazınız.
5. Biyosfer II gibi bir yapıyı inşa etmek için, bir gezegen seçiminde düşünülmesi gereken faktörler nelerdir?

Termokimya



Metanın yanması ile oluşan alevdeki taneciklerin görünür lazerle analizi.

Bölüm Başlıkları

- 6.1 Enerjinin Doğası ve Enerji Çeşitleri
- 6.2 Kimyasal Tepkimelerde Enerji Değişimleri
- 6.3 Termodinamiğe Giriş
- 6.4 Kimyasal Tepkimelerin Entalpileri
- 6.5 Kalorimetri
- 6.6 Standart Oluşum Entalpisi ve Tepkime
- 6.7 Çözelti Isısı ve Seyrelme

Toplu Bakış

- Önce, enerjinin doğasını ve ilke olarak birbirine dönüşebilen farklı enerji türlerini inceleyerek başlayacağız. (6.1)
- Daha sonra, kimyasal tepkimelerde enerji değişimini konu alan termokimyayı öğreneceğiz. Tepkimelerin çok büyük bir kısmının endotermik (ısı alan) veya ekzotermik (ısı veren) olduğunu göreceğiz. (6.2)
- Termokimya, enerjinin korunumu yasasına dayanır ve termodinamiğin birinci yasası olarak bilinen geniş bir konunun bir bölümüdür. İç enerji değişiminin ısı ve işteki değişim olduğunu göreceğiz (6.3)
- Bundan sonra, sabit basınç koşullarında yürütülen işlemlerde kullanılan ve entalpi olarak adlandırılan yeni bir enerji terimi ile tanışacağız. (6.4)
- Tepkime ısısını ölçmenin yollarını (kalorimetri), özgül ısı ve ısı kapasitesinin anlamını, deneysel bir iş için kullanılan nicelikleri öğreneceğiz. (6.5)
- Tepkenlerin ve ürünlerin oluşum entalpileri bilinirse, tepkime entalpisi hesaplanabilir. Bu nicelikleri ya doğrudan yöntemle elementlerinden veya ısıların toplanabilirliğine dayanan Hess yasası ile belirlemenin yollarını tartışacağız. (6.6)
- Son olarak, bir çözücünde madde çözüldüğünde çözelti ısısı değişimini, bir çözelti seyreltildiğinde seyrelme ısısı değişimini inceleyeceğiz. (6.7)

Her kimyasal tepkime başlıca iki yasaya uyar: kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu yasası. Tepkimeye girenler ve ürünler arasındaki kütle ilişkilerini Bölüm 3’de inceledik. Burada kimyasal tepkimelere eşlik eden enerji değişimlerini inceleyeceğiz.

6.1 Enerjinin Doğası ve Enerji Çeşitleri

“Enerji” çok kullanılan bir terimdir ve daha çok soyut bir kavramı ifade eder. Örneğin kendimizi yorgun hissettiğimizde enerjimiz kalmadı deriz. Yenilenemeyen *enerji* kaynaklarına seçenek olarak yeni enerji kaynaklarının bulunması gerektiği hakkında yazılar okuruz. Maddenin aksine, *enerji* etkileriyle bilinir. Görülemez, dokunulamaz, koklanamaz ve tartılamaz.

Enerji genellikle *iş yapabilme kapasitesi* olarak tanımlanır. Bölüm 5’de işi “kuvvet \times yol” olarak tanımlanmıştı. Kitabın ilerleyen kısımlarında göreceğimiz gibi diğer iş çeşitleri de vardır. Bütün enerji çeşitleri iş yapabilme potansiyeline sahiptir (yani kuvvet uygulayarak mesafe kazandırır). Ancak, enerji türlerinin hepsi kimya konusu ile aynı derecede ilişkili değildir. Örneğin, bir gelgit olayındaki enerji yararlı bir işe çevrilebilir, ancak bunun kimya ile ilişkisi en az düzeydedir. Kimyacı, *işi bir süreçten kaynaklanan enerji değişimi* olarak tanımlar. Kinetik enerji, hareketli bir cisimden kaynaklanan enerji şeklidir ve kimyacıları da ilgilendirir. Diğer bazı enerji çeşitleri ise ışın enerjisi, ısı enerjisi, kimyasal enerji ve potansiyel enerjidir.

Isı enerjisi veya *güneş enerjisi*, *güneşten gelir* ve Dünya’nın birincil enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, atmosferi ve Dünyanın yüzeyini ısıtır, fotosentez olarak bilinen süreçle bitkilerin büyümesini sağlar ve iklimleri etkiler.

Isı enerjisi, *atom ve moleküllerin rastgele hareketleriyle ilişkilidir*. Isı enerjisi genellikle sıcaklık ölçümlerinden hesaplanır. Molekül ve atomların hareketleri arttıkça, madde örneği daha sıcak hale gelir ve ısı enerjisi artar. Bununla birlikte ısı enerjisi ile sıcaklık arasındaki farkı ayırt etmemiz gereklidir. Örneğin, 70°C’deki bir fincan kahvenin sıcaklığı, 40°C’deki su ile doldurulmuş banyo küvetinin sıcaklığından daha yüksektir. Bununla beraber, banyo küvetinde depolanan ısı enerjisi kahve fincanındakinden çok daha fazladır. Çünkü banyo küveti kahveden çok daha fazla hacme ve daha büyük kütleye sahiptir dolayısıyla daha fazla su molekülleri ve daha fazla moleküler hareket vardır.

Kimyasal enerji, *kimyasal maddelerin yapısal birimlerinde depolanan enerjidir*. Bu enerjinin miktarı madde yapısındaki atomların türü ve düzenlenmeleriyle belirlenir. Maddeler kimyasal tepkimelere girdiğinde enerji açığa çıkar, depolanır veya başka bir enerji şekline döndürülür.

Potansiyel enerji, *bir cismin konumundan dolayı sahip olduğu enerjidir*. Örneğin, bir uçurumun tepesinde bulunan bir kayanın potansiyel enerjisi daha büyüktür. Eğer bu kaya düşerse, uçurumun daha aşağılarında bulunan bir başka kayanın düşmesine nazaran etrafa daha fazla su sıçratır. Kimyasal enerji, bir madde içindeki atomların birbirine göre konumları ve düzenlenmeleriyle ilişkili olduğu için, potansiyel enerjinin bir başka şekli gibi düşünülebilir.

Bütün enerji türleri, ilke olarak birinden diğerine dönüştürülebilir. Güneşte durduğumuzda, sıcaklık hissederiz ve ışın enerjisi cildimizde ısı enerjisine dönüştürülür. Egzersiz yaptığımızda vücudumuzda depolanan kimyasal enerji, kinetik enerji oluşturmak üzere kullanılır. Bir top tepeden aşağı doğru yuvarlandığında potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür. Buna benzer başka örnekler de düşünebilirsiniz. Enerji türlerinin birbirine dönüştürülebilmesine karşın, bilim insanları enerjinin ne yoktan var edilebileceği ne de yok edilebileceği sonucuna varmışlardır. Bir enerji türü yok olduğunda eşit büyüklükte başka bir enerji çeşidi ortaya çıkar veya tersi olur. Bu ilke *enerjinin korunumu yasası* olarak özetlenir: *evrenin toplam enerji miktarı sabit kabul edilir*.

Kinetik enerji Bölüm 5’de incelendi. (s.202)



Barajdaki su aşağıya doğru akarken potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Bu enerjinin elektrik elde etmek üzere kullanılmasına hidroelektrik güç denir.



Bu kızılötesi veya infrared fotoğraf, evde ısı enerjinin nereden kaçtığını göstermektedir. Rengin daha kırmızı olduğu yerlerden, daha fazla enerji dışarıya kaybolur.

Animasyon
Isı Akışı

Isı soğurulduğu veya salındığında toplam enerji korunur, ancak sistem ve çevre arasında aktarılır.

6.2 Kimyasal Tepkimelerde Enerji Değişimleri

Kimyasal tepkimelerde yer alan enerji değişimleri, en az Bölüm 3’de incelenen kütle bağıntıları kadar kimyanın uygulama alanı içerisindedir. Örneğin, günlük hayatımızda doğal gaz veya akaryakıtın yanma tepkimeleriyle elde edilen su ve karbon dioksitten ziyade, bizi açığa çıkan ısı enerjisi ilgilendirir.

Enerji, kimyasal tepkimelerin hemen hemen tamamında ısı şeklinde alınıp ya da açığa çıkar (salınır). **Isı**, farklı sıcaklıklardaki iki cisim arasındaki termal enerjisi aktarımıdır. “Isı akışı” sıcak cisimden soğuk cisme doğrudur. “Isı” terimi enerjinin aktarımını ifade etmekle beraber, ısı değişimlerinde genellikle “alınan ısı” veya “salınan ısı” dan bahsederiz. **Termokimya**, kimyasal tepkimelerdeki ısı değişimleriyle ilgilenir.

Kimyasal tepkimelerdeki enerji değişimlerini incelemek için bir sistem tanımlanmalıdır. **Sistem**, ilgilendiğimiz evren parçasıdır. Kimyacılar için sistemler, genellikle kimyasal ve fiziksel değişimlerdeki maddeleri içerirler. Örneğin, bir asit-baz nötrleşme deneyinde, sistem, 50 mL HCl ve 50 mL NaOH içeren bir beherdir. **Çevre** ise evrenin sistem dışında kalan kısmıdır.

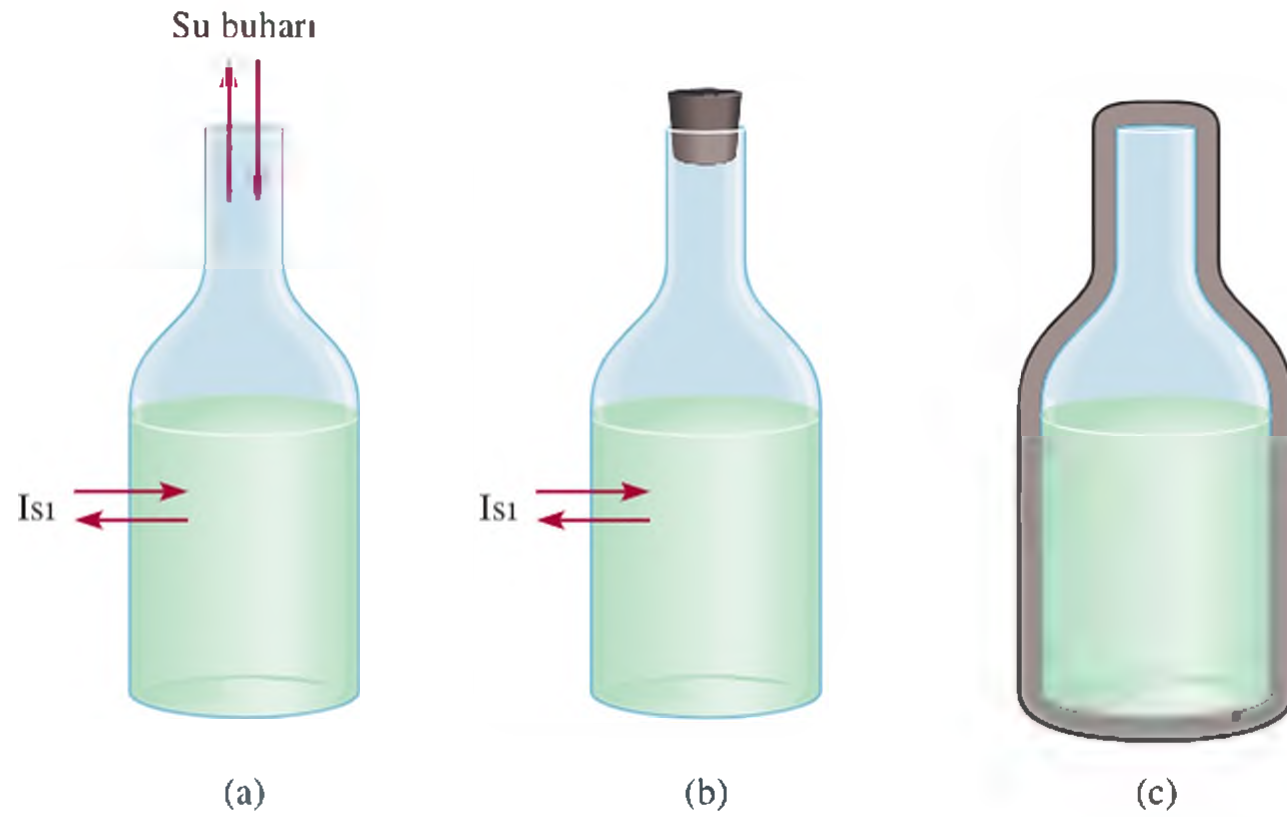
Üç tip sistem vardır. Bunlar açık sistem, kapalı sistem ve yalıtılmış sistemdir. **Açık sistem**, çevresiyle kütle ve ısı şeklinde enerji değişimi yapabilir. Örneğin Şekil 6.1 (a)’da gösterildiği gibi ağzı açık bir kaptaki bir miktar su açık sistemdir. Eğer Şekil 6.1 (b) gibi şişenin ağzı kapatılırsa, su buharı ne şişeden kaçabilir ne de yoğunlaşabilir. Bu bir **kapalı sistemdir** ve enerji aktarımı (ısı) olabilir ancak kütle aktarımı gerçekleşmez. Eğer suyu tamamen yalıtılmış bir kaba koyarsak, yalıtılmış bir sistem oluştururuz. Böyle bir sistem Şekil 6.1 (c)’de gösterildiği gibi ne enerji ne de kütle aktarımına izin verir.

Hidrojenin oksijenle yanma tepkimesi, önemli derecede ısı salan kimyasal tepkimelerden biridir (Şekil 6.2):



Bu durumda tepkime karışımını (hidrojen, oksijen ve su molekülleri) **sistem**, evrenin geri kalan kısmını ise **çevre** olarak adlandırırız. Enerji yoktan var edilemeyeceğine veya var olan enerji yok edilemeyeceğine göre sistem tarafından kaybedilen enerji çevre tarafından kazanılacaktır. Böylece, bir yanma olayında ısı sistemden çevreye aktarılır. Bu tep-

Şekil 6.1 Bir şişede bulunan su ile üç sistem tanımlanmıştır: (a) çevresiyle kütle ve enerji değişimi yapabilen açık sistem (b) enerji değişimi yapabilen, ama kütle değişimi yapamayan kapalı sistem; (c) ne enerji ne de kütle transferi yapabilen yalıtılmış bir sistem (şişe bir vakumlu silindire çevrilmiştir)





Şekil 6.2 Hindenburg felaketi. Hindenburg bir Alman uzay gemisidir. Hidrojen gazı doldurulmuş olan bu gemi müthiş bir patlama ile 1937'de New Jersey, Lakehurst'da parçalanmıştır.

kime **ekzotermik** bir olaya örnektir. Ekzotermik olayda ısı *salınır*, diğer bir deyişle ısı enerjisi çevreye aktarılır. Şekil 6.3(a) hidrojen gazının yanması sırasında enerji değişimlerini göstermektedir.

Şimdi bir başka tepkimeyi, cıva (II) oksit (HgO)'nin yüksek sıcaklıkta bozunma tepkimesini dikkate alalım.



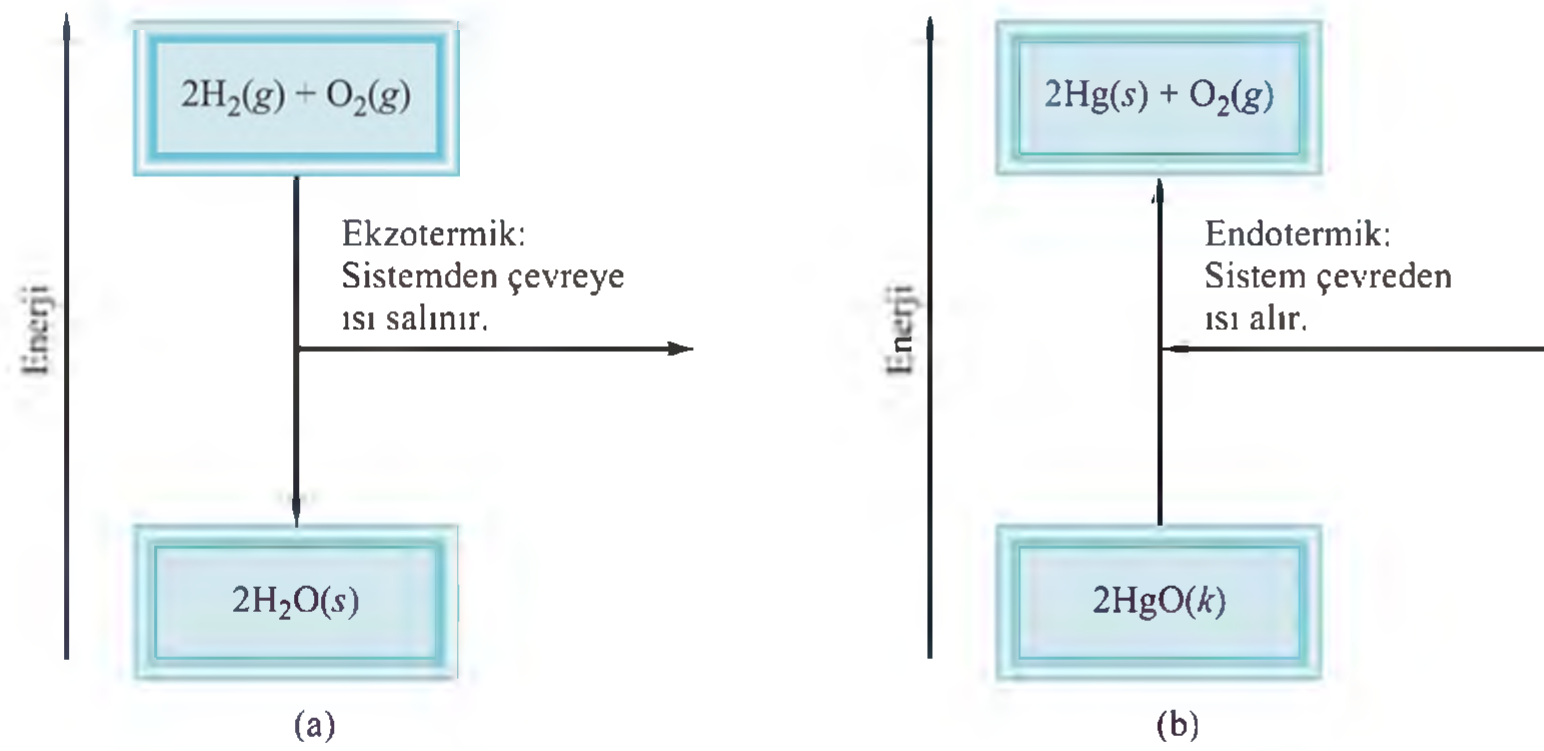
Bu tepkime, **endotermik bir tepkime**dir, ısı çevreden sisteme (HgO'e) aktarılmalıdır [Şekil 6.3(b)].

Şekil 6.3'den görüldüğü gibi ekzotermik tepkimelerde, ürünlerin toplam enerjisi, tepkimeye girenlerin toplam enerjisinden daha düşüktür. Bu iki büyüklük arasındaki fark sistem tarafından çevreye verilen ısı miktarıdır. Endotermik tepkimelerde ise tam tersi gerçekleşir ve ürünlerin enerjileri tepkimeye girenlerin enerjilerinden daha büyük olup, aradaki fark çevre tarafından sisteme verilen enerjiye eşittir.

Yunanca, ekzo- "dışarıya" endo- "içeriye" demektir.



HgO ısıtıldığında bozunarak Hg ve O₂ verir.



Şekil 6.3 (a) Bir ekzotermik işlem. (b) Bir endotermik işlem. (a) ve (b) bölümleri aynı ölçekte çizilmemiştir, yani H₂ ve O₂'den suyun oluşmasında açığa çıkan ısı, HgO'nun bozunmasında soğunulan ısıya eşit değildir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda verilenleri açık sistem, kapalı sistem veya yalıtılmış sistem olarak sınıflandırınız.

- (a) Termosta tutulan süt.
- (b) Yurt odasında bir şeyler okuyan bir öğrenci.
- (c) Bir tenis topundaki hava.

6.3 Termodinamiğe Giriş

Termokimya, oldukça kapsamlı bir konu olan *termodinamiğin* bir bölümüdür. Termodinamik ise *ısı ve diğer çeşit enerjilerin birbirine dönüşümünü inceler*. Termodinamik yasaları, enerjiyi ve olayların izlediği yolu anlamada yol göstericidir. Bu kesimde termokimya ile ilişkili olan termodinamiğin birinci yasası üzerinde yoğunlaşacağız. Termodinamik ile ilgili incelemelerimize Bölüm 17’de devam edeceğiz.

Termodinamikte *sistemin hal* değişimini incelenir. Hal değişimini, *makroskopik özelliklerle belirlenir*. Bunlar örneğin, *bileşim, enerji, sıcaklık, basınç ve hacimdir*. Enerji, basınç, hacim ve sıcaklığa *hal fonksiyonları* denir. *Bunlar sistemin hali tarafından belirlenen ve izlenen yola bağlı olmayan özelliklerdir*. Diğer bir deyişle, sistemin hali değiştiğinde, bu fonksiyonların büyüklüklerindeki değişim sistemin başlangıç ve son hali ne bağlıdır. Değişikliğin hangi yolla olduğuna bağlı değildir.

Bir gaz örneğinin hali, hacmi, basıncı, sıcaklığı ile belirlenir. 100 K sıcaklıkta, 2 atm basınçta, 1 L (ilk hal) hacminde bir gazı dikkate alalım. Sabit sıcaklıkta basıncı 1 atm’e düşürelim. Boyle yasasına göre gazın hacmi 2 L’ye çıkmalıdır. Gazın son hali, 1 atm, 300 K ve 2 L olacaktır. Hacimdeki değişim (ΔV)

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_s - V_i \\ &= 2 \text{ L} - 1 \text{ L} \\ &= 1 \text{ L}\end{aligned}$$

Burada V_i ve V_s sırasıyla ilk ve son hacmi göstermektedir. Son hale nasıl ulaştığınıza bağlı olmaksızın (önce basıncı artırıp sonra 1 atm’ye düşürebilirdik) hacimdeki değişim daima 1 L’dir. Öyleyse hacim bir hal fonksiyonudur, benzer şekilde basınç ve sıcaklığın hal fonksiyonu olduğunu gösterebiliriz.

Enerji de diğer bir hal fonksiyonudur. Bir noktadan başlayarak dağın tepesine tırmandığımızda, potansiyel enerjideki artış hangi yolu izleyerek tepeye ulaştığınıza bağlı olmaksızın aynıdır (Şekil 6.4)

Termodinamiğin Birinci Yasası

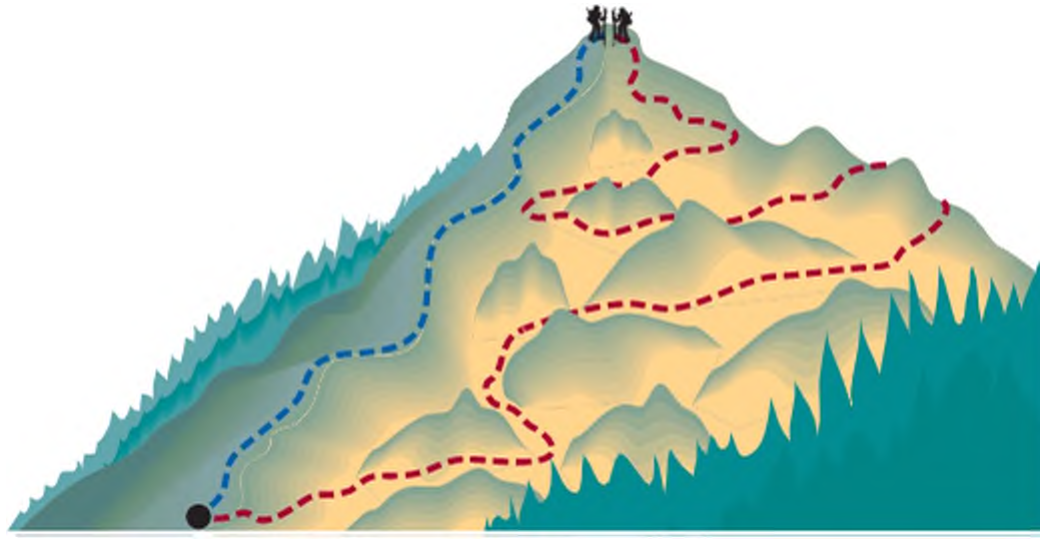
Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu yasasıdır. Bu yasaya göre, *enerji bir şekilden diğer şekle dönüşebilir ama ne yoldan var edilebilir ne de yok edilebilir*. Bunun böyle olduğunu nereden biliyoruz? Evrenin toplam enerji içeriğini belirlemek

Hal fonksiyonlarındaki değişimler izlenen yola bağlı değil, fakat sadece ilk ve son hale bağlıdır.

Yunanca Δ , değişimi simgeler. Δ 'yı bu kitapta 'son - ilk' anlamında kullanacağız.

Bir cismin potansiyel enerjisinin, konumundan ya da kimyasal bileşiminden kaynaklandığını hatırlayınız.

¹Bölüm 2’de, s. 40’daki dipnotta verilen kimyasal tepkimelerdeki kütle ve enerji bağıntısına bakınız.



Şekil 6.4 Bir dağa yerden başlayarak tepesine kadar tırmanan bir insanın potansiyel enerjisindeki artış, dağa tırmanırken izlediği yola bağlı değildir.

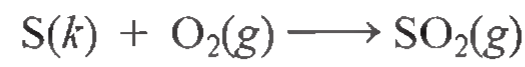
gerektiğinden birinci yasayı ispatlamak imkansızdır. Hatta 1 g demirin bile enerji içeriğinin hesaplamak son derece zordur. Ancak, birinci yasanın geçerliliğini, sistemin *ilk* ve *son halleri* arasındaki iç enerji farkını ölçerek gösterebiliriz. İç enerjideki değişim ΔU aşağıdaki gibi verilir.

$$\Delta U = U_s - U_i$$

burada U_i ve U_s sırasıyla sistemin ilk ve son hallerindeki iç enerji değerleridir.

Bu sistemin iç enerjisinin iki bileşeni vardır. Bunlar kinetik enerji ve potansiyel enerjidir. Kinetik enerji bileşeni, çeşitli türlerdeki molekül hareketlerini ve moleküllerdeki elektronların hareketlerini içerir. Potansiyel enerji bileşeni ise moleküllerdeki etkileşimler kadar elektronlarla çekirdek arasındaki çekme ve elektronlar arasındaki itme etkileşimleriyle belirlenir. Bu katkıları tam olarak ölçmek imkansızdır. Dolayısıyla sistemin toplam enerjisini tam olarak hesaplayamayız. Bununla beraber enerjideki değişim denel olarak belirlenebilir.

1 mol kükürt ile 1 mol oksijen gazının 1 mol kükürt dioksit oluşturma tepkimesini ele alalım.



Bu durumda bizim sistemimiz tepkimeye girenler yani S ve O_2 , (başlangıç hali) ürün ise SO_2 (son hal) molekülleridir. Gerek tepkimeye giren gerekse ürün moleküllerin iç enerji değerlerini bilemeyiz. Ancak, enerji içeriğindeki değişimi (ΔU) hassas olarak ölçebiliriz.

$$\Delta U = U(\text{ürünler}) - U(\text{tepkenler})$$

$$1 \text{ mol } \text{SO}_2(g) \text{'nin enerji içeriği} - [1 \text{ mol } \text{S}(k) + 1 \text{ mol } \text{O}_2(g) \text{'nın}] \text{ enerji içeriği}$$

Bu tepkimenin ısı saldıgını biliyoruz. Bu durumda ürünlerin enerjisi, tepkimeye girenlerin enerjisinden daha düşüktür, yani ΔU değeri negatiftir.

Tepkimede salınan ısı, moleküllerin kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu açığa çıkmıştır. Enerji sistemden çevreye verildiği için evrenin toplam enerjisi değişmemiş olur. Diğer bir deyişle enerji değişimlerinin toplamı sıfırdır.

$$\Delta U_{\text{sis}} + \Delta U_{\text{çev}} = 0$$

veya

$$\Delta U_{\text{sis}} = - \Delta U_{\text{çev}}$$

burada “sis” ve “çev” alt indisleri sistem ve çevreyi göstermektedir. Bu sistem ΔU_{sis} miktarında enerji değişimine uğrarsa, evrenin geri kalan kısmı yani çevre bu miktara



Kükürt oksijenle SO_2 vermek üzere yanar.

eşit ama zıt işaretli ($-\Delta U_{\text{çev}}$) enerji kazanır. Diğer bir deyişle bir yerde enerji kazanımı varsa, bu başka yerde enerji kaybı olmalıdır. Ayrıca enerji bir şekilden başka bir şekle dönüşebildiğinden, bir sistem tarafından kaybedilen enerji miktarı, başka bir sistem tarafından kazanç şeklinde alınabilir. Örneğin, bir güç santralinde, yakıt yakılmasıyla elde edilen enerji, evlerimizde, ısı, ışık ve bunun gibi şekillere dönüştürülebilir.

Kıymada biz normal olarak, bir cam kaptaki bulunan tepkenler ve ürünlerde olduğu gibi, sistemle ilişkili enerji değişimleriyle ilgilenir, sistemin çevresiyle ilgilenmeyiz. Buna göre, termodinamiğin birinci yasası aşağıdaki gibi verilir.

$$\Delta U = q + w \quad (6.1)$$

Küçük harf olarak gösterilen büyüklükler (w ve q gibi) hal fonksiyonu olmayan termodinamik büyüklüklerdir.

Sistemin enerjisinden bahsederken bazen "iç" kelimesini kolaylık olsun diye kullanmayacağız.

burada "sis" alt indisini basitlik sağlamak için kullanmadık. Eşitlik (6.1)'de, sistemin iç enerjisindeki değişim (ΔU), sistemle çevresi arasındaki ısı değişimini (q) miktarı ile sisteme yapılan veya sistemin yaptığı iş (w) miktarının toplamı olarak ifade edilir. Eşitlikteki q ve w büyüklüklerinin işaretleri: Endotermik bir olay için q pozitif, ekzotermik bir olay için ise negatiftir. w değeri ise, sisteme yapılan iş için pozitif, sistem tarafından yapılan iş için negatiftir. Termodinamiğin birinci yasasını, bir bankadaki likit para dengesi gibi, bir enerji dengesi olarak düşünebiliriz. Parayı likit değişimi şeklinde çekebilirsiniz veya yatırabilirsiniz. Enerjide de ısı değişimi veya iş şeklinde enerji değişimi yapabilirsiniz. Bankadaki hesabınız, bu para çekme ve yatırma işlemleri sonucundaki net miktardır.

Eşitlik (6.1) kısa bir eşitlik gibi düşünebilir, ancak oldukça akılcı bir eşitliktir. Eğer sisteminiz çevreye ısı verirse ve iş yaparsa, sistemin enerjisi azalır. Bu sebeple q ve w negatiftir. Tersini yani sisteme ısı verilir ve sisteme iş yapılırsa sistemin iç enerjisi artar. Bu durumda hem q ve hem de w pozitifdir. Çizelge 6.1'de q ve w 'nın işaretleri özetlenmiştir.

İş ve Isı

Şimdi iş ve ısıyı tabiatını daha ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

İş

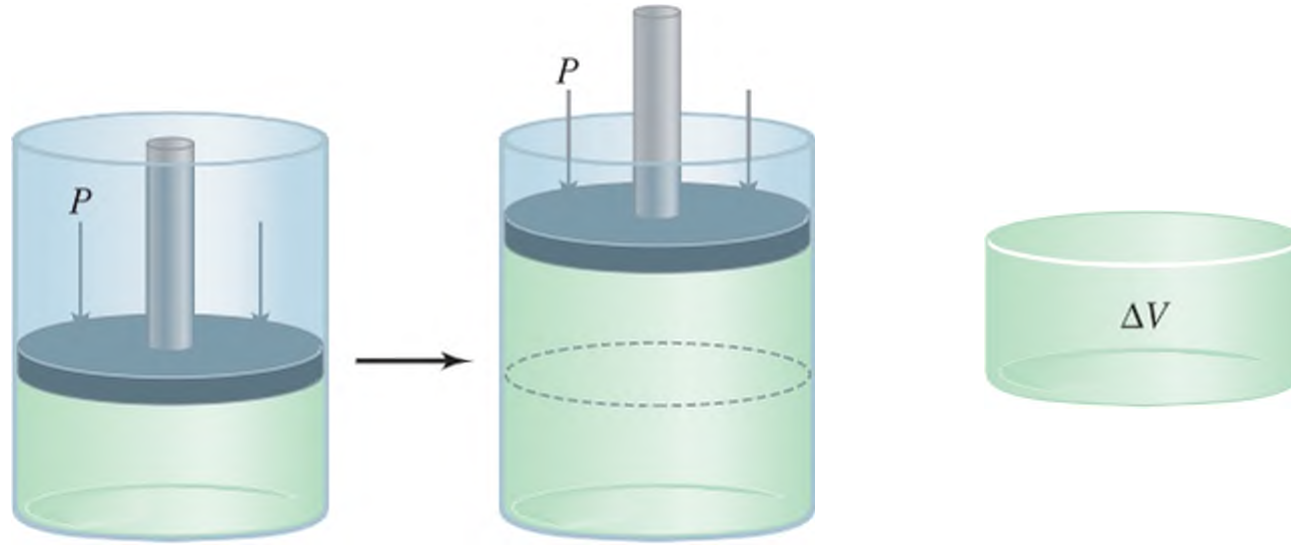
İşin kuvvet (F) ile yolun (d) çarpımı olduğunu görmüştük.

$$w = F \times d \quad (6.2)$$

Termodinamikte işin çok daha geniş anlamı vardır. Çelik bir kırılgan bir vinç tarafından kaldırılmasında olduğu gibi mekanik iş, aktörün elektron göndererek sinyal lam-

Çizelge 6.1 İş ve Isının Kabul Edilen İşaretleri

Süreç	İşaret
Sistem tarafından çevreye iş yapılıyor	-
Çevre tarafından sisteme iş yapılıyor	+
Çevreden sisteme ısı aktarılıyor (Endotermik olay)	+
Sistemden çevreye ısı aktarılıyor (Ekzotermik olay)	-



Şekil 6.5. Sabit bir dış basınca karşı (atmosferik basınç gibi) genişleyen bir gaz. Gaz, kütlesi ihmal edilebilir ve hareketli bir piston içeren silindirin içerisinde. Yapılan iş $-P\Delta V$ büyüklüğü ile verilir. $\Delta V > 0$ olduğundan yapılan iş negatif büyüklüktür.

basını yakmasında olduğu gibi elektrik işi, sabun köpüğünün patlatılmasında olduğu gibi yüzey işi bunlara örnek verilebilir. Bu kısımda mekanik iş üzerinde duracağız. Bölüm 18’de ise elektrik işini inceleyeceğiz.

Mekanik iş göstermenin bir yolu, bir gazın genişmesi veya sıkışmasını incelemektir. Kimyasal ve biyolojik işlemlerin birçoğu gaz hacmi değişimlerini içerir. Nefes alıp vermek akciğerlerdeki alveol adı verilen bronşçuklardaki minicik keseciklerin genişmesi ve büzülmesi ile gerçekleşir. Diğer bir örnek olarak, otomobil motorlarındaki yanma olayı verilebilir. Benzin–hava karışımının yanmasıyla oluşan ve birbirini takip eden genişleme ve sıkışmalar araca güç sağlar. Kütlesi ihmal edilebilir, sürtünmesiz bir hareketli piston içeren, sabit sıcaklık, basınç ve hacimde bulunan bir silindirdeki gaz Şekil 6.5’de gösterilmektedir. Gaz dış basınca karşı genişlediğinde pistonu yukarı doğru iter. Gaz tarafından çevreye yapılan iş aşağıda verildiği gibidir.

$$w = -P\Delta V \quad (6.3)$$

burada ΔV yani $V_{\text{son}} - V_{\text{ilk}}$ hacimdeki değişimdir. Eşitlik (6.3)’teki negatif işaret işin yönünü belirler. Gaz genişlediğinde çevreye karşı iş yapar ve $\Delta V > 0$ olur. Buna göre $-P\Delta V$ negatif olur. Gaz sıkıştırıldığında ise sistem üzerinde iş yapılır ve $\Delta V < 0$ olur. Buna göre, $-P\Delta V$ pozitif bir büyüklük olur.

Eşitlik (6.3)’teki “basınç \times hacim” terimi “(kuvvet/alan) \times hacim” şeklinde de yazılabilir:

$$P \times V = \frac{F}{d^2} \times d^3 = F \times d = w$$

basınç hacim

Burada F karşı konulan kuvvet, d uzunluk, d^2 alan, d^3 ise hacim boyutudur. Dolayısıyla basınç çarpı hacim değeri, kuvvet çarpı yol değerine eşittir. Eşitlikten görülebileceği gibi hacimdeki belirli bir artış (yani belirli bir ΔV değeri) için yapılan iş, dış basıncın yani karşı gelinen basıncın değerine bağlıdır. P sıfır ise, yani gaz vakuma (boşluğa) karşı genişlerse yapılan iş sıfır olmalıdır. Eğer P sıfırdan farklı, yani pozitif bir değer ise bu durumda yapılan iş $-P\Delta V$ olur.

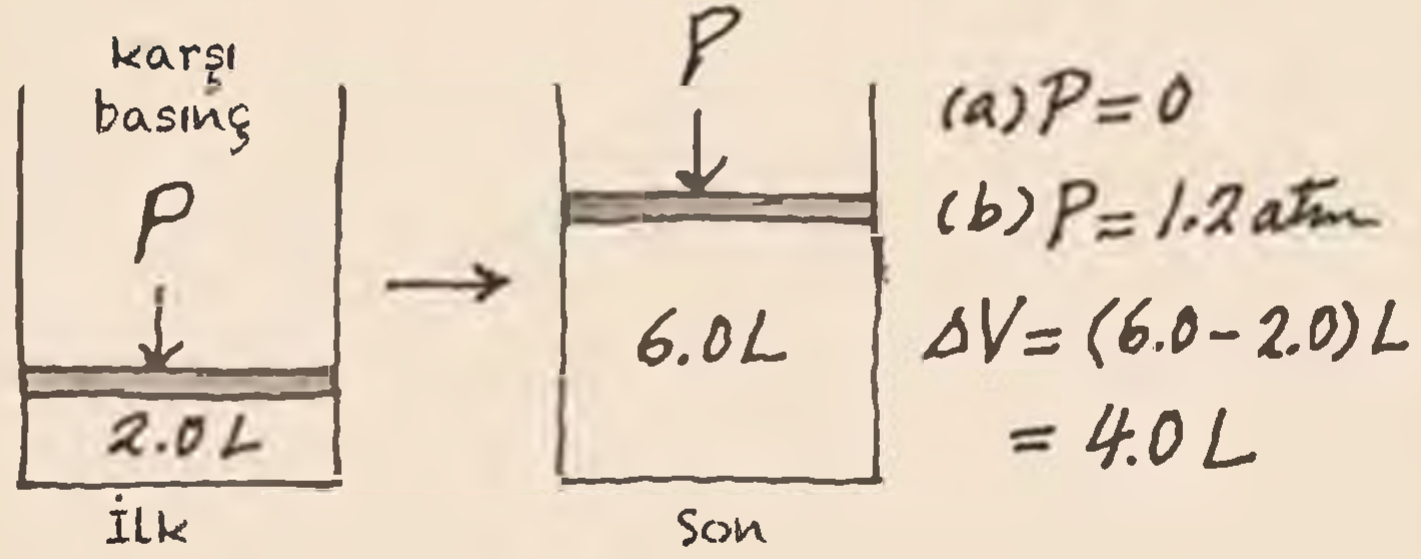
Eşitlik 6.3’e göre işin birimi, ister gaz dışarıya karşı iş yapsın, isterse gaz üzerine iş yapılsın, litre-atmosferdir. Yapılan işi daha alışık olduğumuz bir birim olan joule cinsinden ifade etmek için, çevirme faktörünü kullanabiliriz(Ek 2’e bakınız).

$$1 \text{ L} \cdot \text{atm} = 101,3 \text{ J}$$

Örnek 6.1

Bir gaz, sabit sıcaklıkta 2.0 L hacimden 6.0 L hacme genişlemektedir. Gaz tarafından yapılan işi (a) vakuma karşı genişmesi (b) 1.2 atm'lık sabit basınca karşı genişmesi durumunda bulunuz.

İzlenecek Yol İşlemin basit bir gösterimi aşağıda verilmiştir.



Genleşmede yapılan iş, dış basınç ile hacimdeki değişimin çarpımına eşittir. Peki, $\text{L} \cdot \text{atm}$ birimi Joule birimine nasıl dönüştürülür?

Çözüm

(a) Dış basınç sıfır olduğu için (vakum), genleşmede iş yapılmaz.

$$\begin{aligned} w &= -P\Delta V \\ &= -(0)(6.0 - 2.0) \text{ L} \\ &= 0 \end{aligned}$$

(b) Dış basınç 1.2 atm'dir. Öyleyse iş

$$\begin{aligned} w &= -P\Delta V \\ &= -(1.2 \text{ atm})(6.0 - 2.0) \text{ L} \\ &= -4.8 \text{ L} \cdot \text{atm} \end{aligned}$$

Yanıtı Joule'e çevirmek için,

$$\begin{aligned} w &= -4.8 \text{ L} \cdot \text{atm} \times \frac{101.3 \text{ J}}{1 \text{ L} \cdot \text{atm}} \\ &= -4.9 \times 10^2 \text{ J} \end{aligned}$$

Benzer problemler: 6.15, 6.16.

Kontrol Bu bir gaz genleşmesi olduğu için, iş sistem tarafından çevreye yapılır ve işareti negatiftir.

Alıştırma Sabit sıcaklıkta bir gaz 264 mL'den 971 mL'ye genişlemektedir. (a) vakuma karşı genleşmesi (b) 4.00 atm sabit basınca karşı genleşmesi durumunda, yapılan işi (joule olarak) hesaplayınız.

Sıcaklık sabit olduğundan, (a) ve (b)'de basıncın aynı olduğunu göstermek için Boyle yasasını kullanabilirsiniz.

Örnek 6.1, işin bir hal fonksiyonu olmadığını gösterir. (a) ve (b) de ilk ve son haller aynı olduğu halde, dış basınç farklı olduğu için yapılan işler farklı değerdedir. Bu değişim için $\Delta w = w_{\text{son}} - w_{\text{ilk}}$ yazamıyoruz. Yapılan iş yalnız ilk ve son hale bağlı değil sürecin nasıl gerçekleştiğine, yani yola bağlıdır.

Isı

İç enerjinin diğer bileşeni ısı, yani q 'dır. İş gibi ısı da bir hal fonksiyonu değildir. Örneğin 100,0 g suyu 20,0°C'den 30,0°C'a getirmek 4184 J gerektirir. Bu enerji (a) doğrudan su üzerine iş yapmadan bir bek alevi ile; (b) ısı enerjisi eklemeyen su üzerine iş yapılarak (örneğin suyu bir manyetik karıştırıcı çubukla karıştırmak); (c) a ve b'deki bazı işlemlerin kombinasyonları ile bir bek alevi ya da bir elektrikli ısıtıcı kullanılarak sağlanabilir. Bu basit örnek, işe benzer şekilde, ısı miktarının da sürecin nasıl gerçekleştirildiğine bağlı olduğunu göstermektedir. Hangi sürecin gerçekleşeceğine bağlı olmaksızın, sistemin iç enerjisi ΔU , $(q + w)$ toplamına bağlıdır. Eğer ilk halden son hale giden yol, q 'nın değerini artırsa, w değerini aynı miktar azaltacağını veya tersinin olacağını sonuçta ΔU 'nın değişmeyeceğini belirtmek önemlidir.

Özet olarak, ısı ve iş hal fonksiyonu değildir. Bunlar, sistemin özellikleri değildir ve sadece değişim sırasında oluşurlar. Değerleri izlenen yolu bağlı olarak değişir.

Örnek 6.2

Şekil 6.5'dekine benzer bir silindirdaki gaz sıkıştırıldığında yapılan iş 462 J'dür. Bu işlem sırasında 128 J değerinde ısı gazdan çevreye aktarılmaktadır. Bu süreçteki enerji değişimini hesaplayınız.

İzlenecek Yol Sıkıştırma sisteme yapılan iştir. Yani gaz üzerine yapılır. Isının işareti nedir? Bu süreç ekzotermik mi, endotermik midir? q değerinin işareti nedir?

Çözüm Gazın enerji değişimini hesaplamak için Eşitlik (6.1)'e ihtiyaç vardır. Sıkıştırma işinin işareti pozitifdir. Isı açığa çıktığı için q negatiftir.

Öyleyse,

$$\begin{aligned}\Delta U &= q + w \\ &= -128 \text{ J} + 462 \text{ J} \\ &= 334 \text{ J}\end{aligned}$$

Sonuç olarak gazın enerjisi 334 J artar.

Alıştırma Bir gaz genişleyerek çevreye 279 J'lük enerjiye karşılık gelen P - V işi yapıyor ve aynı anda çevreden 216 J enerji soğuruyor. Sistemin enerjisindeki değişimi hesaplayınız.

Benzer problemler: 6.17, 6.18.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aynı sıcaklık ve basınçtaki iki ideal gaz eşit hacimli iki kaba konuluyor. Kaplardan biri sabit hacimli diğeri Şekil 6.5'dekine benzer kütsüz kabul edilebilecek hareketli pistonlu bir silindir. Başlangıçta gaz basınçları dış basınca eşittir. Gazlar daha sonra bir Bunsen beki ile ısıtılıyor, bu şartlarda q ve w 'in işaretleri ne olur?

Yapay Kar ve Bisiklet Lastiğinin Şişirilmesi

Günlük yaşamdaki birçok olay termodinamiğin birinci yasası ile açıklanabilir. Burada açık havada yaşamayı sevenlerin ilgilenebileceği iki örneği tartışacağız.

Yapay Kar

Eğer hevesli ve devamlı bir iniş kayakçısı iseniz, muhtemelen yapay kar üzerinde kaymışsınızdır. Karsız bir günde kayakçıların kar ihtiyacını karşılayacak kadar büyük kar kütlesi nasıl yapılır? İşte kar yapmadaki bu sır, $\Delta U = q + w$ eşitliğinde gizlidir. Bir kar yapma makinesi 20 atm'de sıkıştırılmış hava ve su buharı içerir. Tank ile dış atmosfer arasındaki büyük basınç farkından dolayı, karışım atmosfere püskürtüldüğünde öyle hızlı genişler ki, iyi bir yaklaşım ile sistemle (hava ve su) çevresi arasında ısı değişimi olmaz, yani $q = 0$ 'dır. Termodinamikte, böyle bir süreç adyabatik süreç olarak adlandırılır. Buna göre,

$$\Delta U = q + w = w$$

yazılır. Sistem çevreye iş yaptığı için w , negatif bir büyüklüktür ve sistemin enerjisinde azalma vardır.

Kinetik enerji, sistemin toplam enerjisinin bir parçasıdır. Kesim 5.7'de bir gazın ortalama kinetik enerjisi mutlak sıcaklıkla orantılı olduğunu görmüştük (Eşitlik 5.15). Böylece enerji ΔU 'daki değişim,

$$\Delta U = C\Delta T$$

ile verilir ve burada C bir orantı katsayısıdır. ΔU negatif olduğu için, ΔT 'de negatif olmalıdır ve bu soğuma etkisi (veya su moleküllerinin kinetik enerjisindeki azalma) kar oluşumundan sorumludur. Kar oluşturmak için sadece suya ihtiyaç olmakla beraber, genişleme ile soğuyan havanın varlığı, su buharının sıcaklığının düşmesine yardımcı olur.

Bisiklet Lastiği Şişirme

Eğer bir bisiklet lastiğine hava pompaladıysanız, muhtemelen supap kısmında ısınma fark etmişsinizdir. Bu olay da termodinamiğin birinci yasası ile açıklanabilir. Pompanın hareketi, pompa

ve lastikteki havayı sıkıştırır. Bu işlem, yaklaşık adyabatik sayılabilecek kadar hızlıdır, dolayısıyla $q = 0$ ve $\Delta U = w$ olur. Bu olayda gaz üzerine iş yapıldığı için (sıkıştırıldı), w , pozitif ve enerjide artış vardır. Böylece sistemin sıcaklığı da

$$\Delta U = C\Delta T$$

eşitliğine göre artar.



Bir kar yapma makinesi çalışıyor.

6.4 Kimyasal Tepkimelerde Entalpi

Bundan sonraki adım farklı koşullarda gerçekleşen süreçlere, termodinamiğin birinci yasasının nasıl uygulanacağını görmek olacaktır. Özellikle laboratuvarlarda sıklıkla karşılaştığımız iki durumu dikkate alacağız. Birisi sistemin hacminin sabit tutulduğu, diğeri sisteme uygulanan basıncın sabit tutulduğu durumdur.

Kimyasal bir tepkime sabit hacimde gerçekleştirilirse $\Delta V = 0$ 'dır. Dolayısıyla $w = -P\Delta V$ olduğunu hatırlayınız. P - V işi yapılmaz. Eşitlik 6.1'den

$$\begin{aligned}\Delta U &= q - P\Delta V \\ &= q_v\end{aligned}\quad (6.4)$$

yazabiliriz. Buradan “v” alt indisi sürecin sabit hacimde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu eşitlik ilk bakışta q 'nın hal fonksiyonu olmadığını gösterdiğimiz için garip gelebilir. Bununla birlikte işlem sabit hacimde gerçekleştirildiği için, ısı değişiminin özel bir değeri vardır ve bu da ΔU 'ye eşittir.

Entalpi

Sabit-hacim şartını sağlamak çoğu kez uygun koşul değildir, hatta başarılması imkansızdır. Bu nedenle, tepkimelerin çoğu sabit basınçta, genellikle atmosfer basıncında gerçekleştirilir. Eğer böyle bir tepkime gazın mol sayısında artışla neticelenirse, sistem çevreye iş yapar (genleşme işi) ve gaz atmosfere girdiğinde çevredeki havayı iter. Eğer tepkimede oluşan gaz molekülünden daha fazla molekül tepken olarak harcanırsa, çevre tarafından sisteme iş yapılır (sıkıştırma işi). Ancak tepkimeye giren ve çıkan gazların mol sayılarında net bir değişim yoksa iş yapılmaz.

Genel olarak, sabit basınçtaki bir süreç için

$$\begin{aligned}\Delta U &= q + w \\ &= q_p - P\Delta V \\ \text{veya} \quad q_p &= \Delta U + P\Delta V\end{aligned}\quad (6.5)$$

yazabiliriz. Burada “p” alt indisi sabit-basınç şartını belirtmektedir.

Şimdi, **entalpi** (H) olarak adlandırılan ve aşağıdaki eşitlikle gösterilen yeni bir termodinamik fonksiyonu tanımlayalım.

$$H = U + PV \quad (6.6)$$

burada U sistemin iç enerjisi. P ve V sırasıyla basıncı ve hacmidir. U ve PV çarpımını enerji birimleri cinsinden olduğu için, entalpi de enerji birimleriyle ifade edilir. Ayrıca U , P ve V hal fonksiyonları olduğundan, $(U + PV)$ 'deki değişimlerde ilk ve son hale bağlıdır. Dolayısıyla H 'daki değişim yani ΔH de ilk ve son hale bağlıdır. Diğer bir deyişle H bir hal fonksiyonudur.

Herhangi bir süreçte, Eşitlik 6.6 ile verilen entalpi değişimi,

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) \quad (6.7)$$

eşitliği ile verilir. Basınç sabit tutulursa,

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (6.8)$$

yazılabilir.

Eşitlik 6.8'i, Eşitlik 6.5 ile karşılaştırsak, sabit basınçta gerçekleştirilen bir işlem için $q_p = \Delta H$ olduğunu görebiliriz. q bir hal fonksiyonu olmadığı halde sabit basınçtaki ısı ΔH 'ye eşittir. Çünkü “yol” belli olduğu için (sabit basınç yolu) belirli bir değeri vardır.

Kesim 6.5'de sabit hacimde ve sabit basınçta ısı değişimlerinin nasıl ölçüleceğini göreceğiz.

Tepkimelerin entalpi değişimlerini genellikle "tep" alt indisini kaldırıp, sadece ΔH yazarak gösteriniz.

Bu benzetme bankadaki mevcut hesabınızdan daha fazla para çekmeyeceğinizi kabul eder. Bir maddenin entalpisi negatif olamaz.

Bir tepkime için birbiriyle ilişkili iki büyüklük, ΔU ve ΔH 'yi tanımladık. Her iki büyüklük de enerjideki değişimi ölçer ve sadece farklı şartlardaki değişimlerle ilgilidir. Eğer tepkime sabit hacimde gerçekleşirse, ısı değişimi q_v , ΔU 'ye, sabit basınç koşullarında gerçekleştirildiğinde ise ısı değişimi q_p , ΔH 'e eşittir.

Tepkime Entalpisi

Tepkimelerin çoğu sabit-basınç koşullarında gerçekleştirildiği için, tepkimedeki ısı değişimi entalpiye eşittir diyebiliriz.



tipindeki tepkimelerin entalpi değişimi, *tepkime entalpisi*, ΔH olarak adlandırılır ve ürünlerin entalpileri ile tepkenlerin entalpileri arasındaki fark olarak tanımlanır.

$$\Delta H = H(\text{ürünler}) - H(\text{tepkenler}) \quad (6.9)$$

Tepkime entalpisi, sürece bağlı olarak pozitif veya negatif olabilir. Endotermik olaylarda sistem çevreden ısı alır ΔH değeri pozitif (yani $\Delta H > 0$) olur, ekzotermik olaylarda ise sistem çevreye ısı salar ΔH negatif (yani $\Delta H < 0$) olur.

Entalpiyi bankadaki hesabımızdaki değişmeye benzetebiliriz. Diyelim ki hesabımızda 100 TL var. Bir işlemten sonra (depozite veya para çekme) bankadaki hesabımızdaki değişim

$$\Delta X = X_{\text{son}} - X_{\text{ilk}}$$

eşitliği ile verilir. Burada X bankadaki hesabı göstermektedir. Bankadaki hesabınıza 80 TL para yatırdığınızı düşünelim. Hesaptaki değişim $180 \text{ TL} - 100 \text{ TL} = 80 \text{ TL}$ 'dir. Bu bir endotermik tepkimeye karşılık gelir (hesap miktarı artar, entalpinin arttığı gibi). Şimdide hesaptan 60 TL para çektiğimizi düşünelim. $\Delta X = 40 \text{ TL} - 100 \text{ TL} = -60 \text{ TL}$ olacaktır. ΔX 'in negatif işaretli olması hesabımızdaki miktarın azaldığını gösterir. Benzer şekilde, ΔH 'nin negatif olması ekzotermik bir tepkime sonucu entalpideki azalmayı yansıtır. Bu benzetme ile Eşitlik 6.9 arasındaki fark, bankadaki hesabımızda miktarı her zaman tam olarak bilmemize karşın, ürünlerin ve tepkimeye giren moleküllerin entalpilerini bilemememiz olup, sadece *farkı* ölçebilmemizdir.

Şimdi de entalpi değişimi kavramını iki yaygın sürece; birincisi fiziksel değişim içeren süreçlere, ikincisi kimyasal değişim içeren süreçlere uygulayalım.

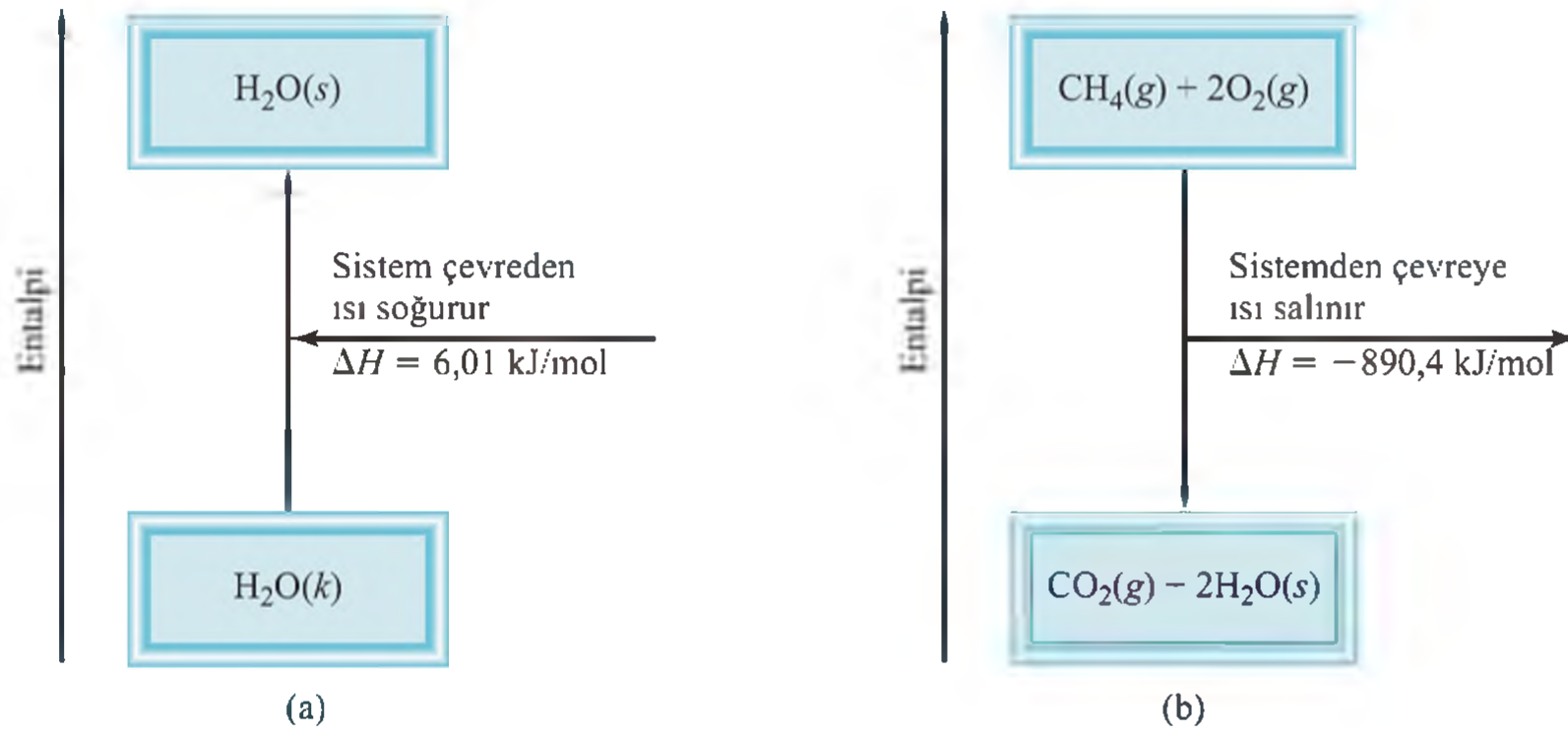
Termokimyasal Eşitlikler

1 atm basınç ve 0°C 'da buz, su oluşturmak üzere erir. 1 mol buz, bu koşullarda sıvı suya döndüğünde, sistem tarafından 6,01 kJ ısı enerjisi alınır. Basınç sabit olduğu için alınan ısı entalpi değişimine (ΔH) eşittir. Bu bir endotermik olaydır ve buzun erimesi enerji alan bir işlemdir [Şekil 6.6(a)]. Öyleyse ΔH , pozitif bir büyüklüktür. Bu fiziksel değişimi gösteren eşitlik şöyledir:



ΔH biriminin "mol başına" verilmesi eşitliğin yazıldığı yönde ve tepkimenin 1 molü için enerji değişimi demektir. Yani 1 mol buzun 1 mol sıvı suya dönüşmesi için $\Delta H = 6,01 \text{ kJ/mol}$ 'dir.

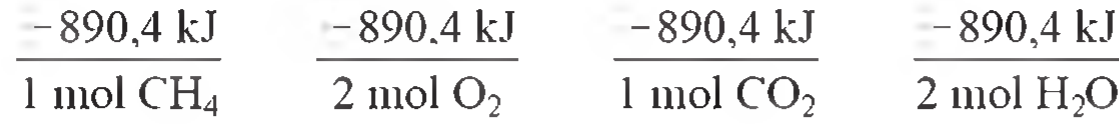
Termokimyasal eşitliklerde, ΔH için "tepkimelerin molü başına" yerine basitçe "mol başına" diye kullanırız.



Diğer bir örnek olarak, doğal gazın bir bileşeni olan metanın (CH_4) yanmasını ele alalım.

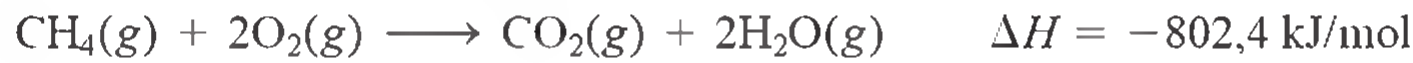


Tecrübelerimize dayanarak, doğal gazın yanmasında çevreye ısı salındığını yani olayın ekzotermik olduğunu söyleyebiliriz. Sabit basınçta bu ısı değişimi entalpiye eşittir ve ΔH negatif işaretlidir [Şekil 6.6(b)]. Benzer şekilde tepkimenin 1 molü başına entalpi değeri; 1 mol CH_4 , 2 mol O_2 ile tepkimeye girdiğinde, 1 mol CO_2 ve 2 mol H_2O oluşturur ve çevreye 890,4 kJ ısı yayılır demektir. ΔH değerlerinin belirli bir tepken veya ürüne ait olmadığını, tepkimede yer alan tüm türlerin mol miktarı için olduğunu unutmamak gerekir.

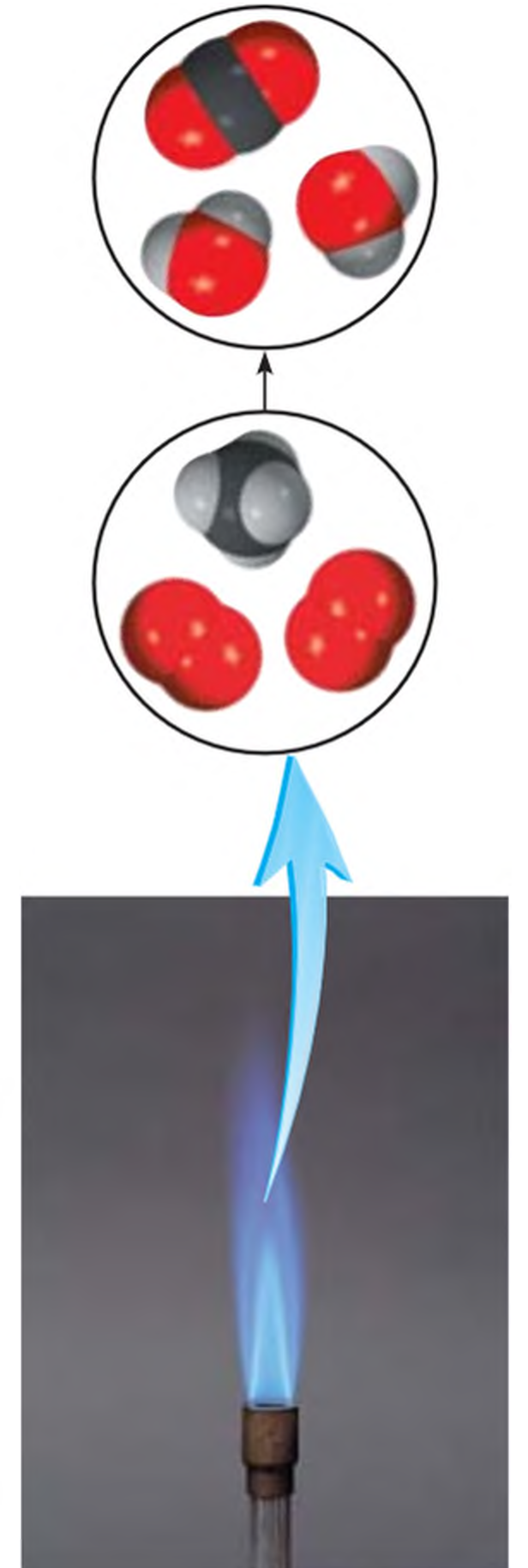


Buzun erimesi ve metanın yanması **termokimyasal eşitliklere** verilebilecek örneklerdir. Bu tepkimeler kütle ilişkilerini gösterdikleri gibi entalpi değişimlerini de gösterirler. Tepkimelerin entalpi değişimlerini verirken denkleştirilmiş eşitlikleri kullanmak gerekir. Termokimyasal eşitlikleri yazmada ve açıklamada aşağıda verilen yolları izlemek yararlıdır.

1. Entalpi değişimlerinin gerçek değerlerini belirlemede yardımcı olacağı için, termokimyasal eşitlikleri yazarken ürünlerin ve tepkimeye girenlerin fiziksel hallerini daima belirtmeliyiz. Örneğin, metanın yanma tepkimesinde ürün olarak sıvı su yerine, su buharı elde edildiğinde şöyle yazılır:

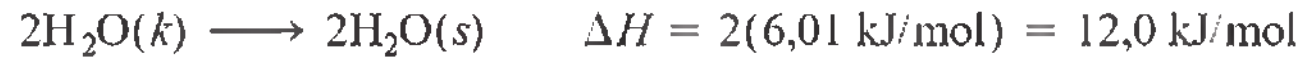


Entalpi değişimi, daha önceki örnekte verildiği gibi $-890,4 \text{ kJ}$ değil, $-802,4 \text{ kJ}$ 'dir. Çünkü $88,0 \text{ kJ}$ 'lük fark, 2 mol sıvı suyu su buharına dönüştürmek için kullanılır.

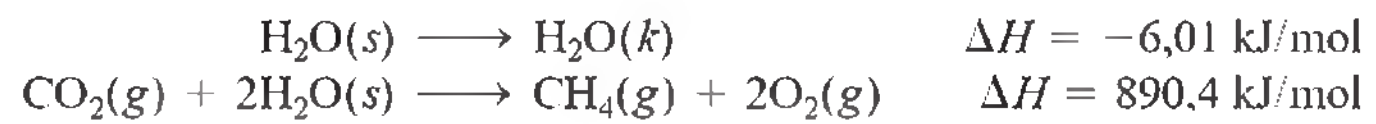


Bunsen bekinde metan gazı yakılıyor.

2. Bir termokimyasal tepkimenin iki tarafını bir faktör n ile çarparsak, ΔH değerini de aynı faktörle çarpmamız gerekir. Buzun erimesi tepkimesine dönersek, $n = 2$ ise ΔH değeri de iki ile çarpılır.



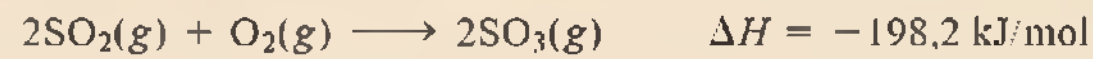
3. Kimyasal eşitliği ters çevirirsek, tepkimeye girenlerin ve ürünlerin rollerini değiştirmiş oluruz. Eşitlik ters çevrildiğinde ΔH 'ın büyüklüğü aynı kalırken işareti değişir. Örneğin, çevresinden ısı alan bir tepkime (endotermik), ters çevrilirse, yeni tepkime çevreye ısı vermelidir (ekzotermik). Yani, entalpi değişiminin de işareti değiştirilmelidir. Buzun erimesi ve metanın yanması tepkimelerini ters çevirirsek



elde ederiz. Bu durumda, endotermik tepkime ekzotermik olur veya ekzotermik tepkime endotermik olur.

Örnek 6.3

Aşağıda verilen tepkimeyi göz önüne alarak



87,9 g SO_2 (mol kütlesi = 64,07 g/mol), SO_3 'e dönüştüğünde açığa çıkan ısı miktarını hesaplayınız.

İzlenecek Yol Termokimyasal eşitlik, yanan her 2 mol SO_2 için 198,2 kJ ısı açığa çıktığını göstermektedir (Negatif işaretli olduğuna dikkat ediniz). Çevirme faktörü,

$$\frac{-198,2 \text{ kJ}}{2 \text{ mol SO}_2}$$

olacaktır. 87,9 g SO_2 kaç mol SO_2 demektir? Gram ve mol arasında çevirme faktörü nedir?

Çözüm Önce 87,9 g bileşikteki SO_2 'nin mol sayısını hesaplamalıyız. Daha sonra da ekzotermik tepkimede açığa çıkan enerji (J) miktarını bulmalıyız. Dönüşümlerin sırası aşağıdaki gibi gösterilebilir:



Böylece tepkimenin entalpi değişimi,

$$\Delta H = 87,9 \text{ g SO}_2 \times \frac{1 \text{ mol SO}_2}{64,07 \text{ g SO}_2} \times \frac{-198,2 \text{ kJ}}{2 \text{ mol SO}_2} = -136 \text{ kJ}$$

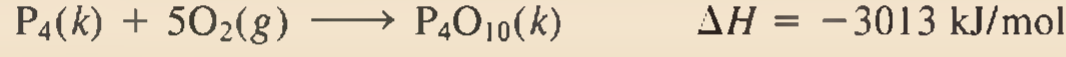
ve çevreye salınan ısı 136 kJ'dur.

(Devamı)

Bir tepkime için ΔH 'ın pozitif veya negatif yazılabileceğini, ancak bu ısının gerçekte daima pozitif bir değer olduğunu unutmayınız. "salınan" ve "soğurulan" kelimeleri ısı aktarımının yönünü verir, dolayısıyla böyle söylendiğinde işaret gerekli değildir.

Kontrol 87.9 g olarak verilen SO_2 miktarı SO_2 'nin mol kütlelerinin iki katından az ($2 \times 67.07 \text{ g}$) olduğu için, açığa çıkan ısı da 198,2 kJ'den azdır.

Alıştırma 266 g beyaz fosfor (P_4), havada aşağıdaki tepkimeye göre yandığında açığa çıkan ısıyı bulunuz.



Benzer problem: 6.26.

ΔH ve ΔU Karşılaştırılması

Bir süreçte ΔH ve ΔU arasındaki ilişki nedir? Bu sorunun cevabını bulmak için metalik sodyum ile su arasındaki tepkimeyi dikkate alalım.



Tepkimeden 2 mol sodyum ile fazla miktarda su etkileştirildiğinde $-367,5 \text{ kJ/mol}$ ısı açığa çıktığı görülmektedir. Ürünlerden biri H_2 gazı olduğundan, bu gaz atmosfere girebilmek için havayı iter ve oluşan enerjinin bir kısmı ΔV ’lık bir hava hacmini atmosferik basınca (P) karşı itmek için harcanır (Şekil 6.7). İç enerjideki değişimi hesaplamak için Eşitlik (6.8) i aşağıdaki gibi düzenleriz.

$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V$$

Sıcaklığın 25°C ve çözelti hacmindeki değişimin ihmal edilebilir olduğunu kabul edersek, 1,0 atm ve 298 K koşullarında 1 mol H_2 gazının hacminin 24,5 L olduğunu gösterebiliriz. Bu durumda $-P\Delta V = -24,5 \text{ L} \cdot \text{atm}$ veya $-2,5 \text{ kJ}$ olur. Sonuç olarak

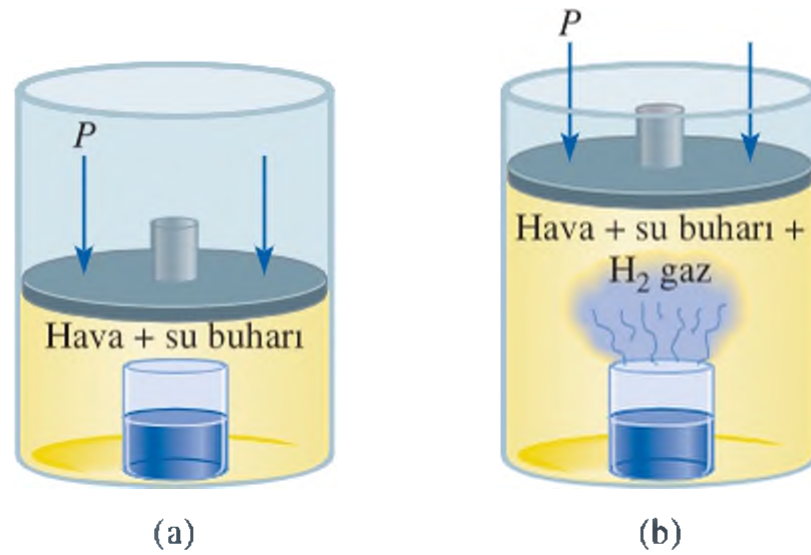
$$\begin{aligned} \Delta U &= -367,5 \text{ kJ/mol} - 2,5 \text{ kJ/mol} \\ &= -370,0 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

bulunur.

Bu hesaplama ΔU ve ΔH ’nın yaklaşık eşit olduğunu göstermektedir. ΔH ’nın ΔU ’den daha küçük olmasının nedeni ise açığa çıkan iç enerjinin bir kısmının genişleme işi için harcanmasındandır. Bu nedenle de daha az ısı açığa çıkar. Gazları içermeyen tepkimelerde ΔV genellikle çok küçüktür ve yaklaşık olarak ΔU , ΔH ile aynı değerdedir.

Gazların yer aldığı tepkimelerde iç enerji değişimini hesaplamamızın diğer bir yolu, sıcaklığı sabit ve gazları ideal gaz olarak kabul etmektir. Bu durumda,

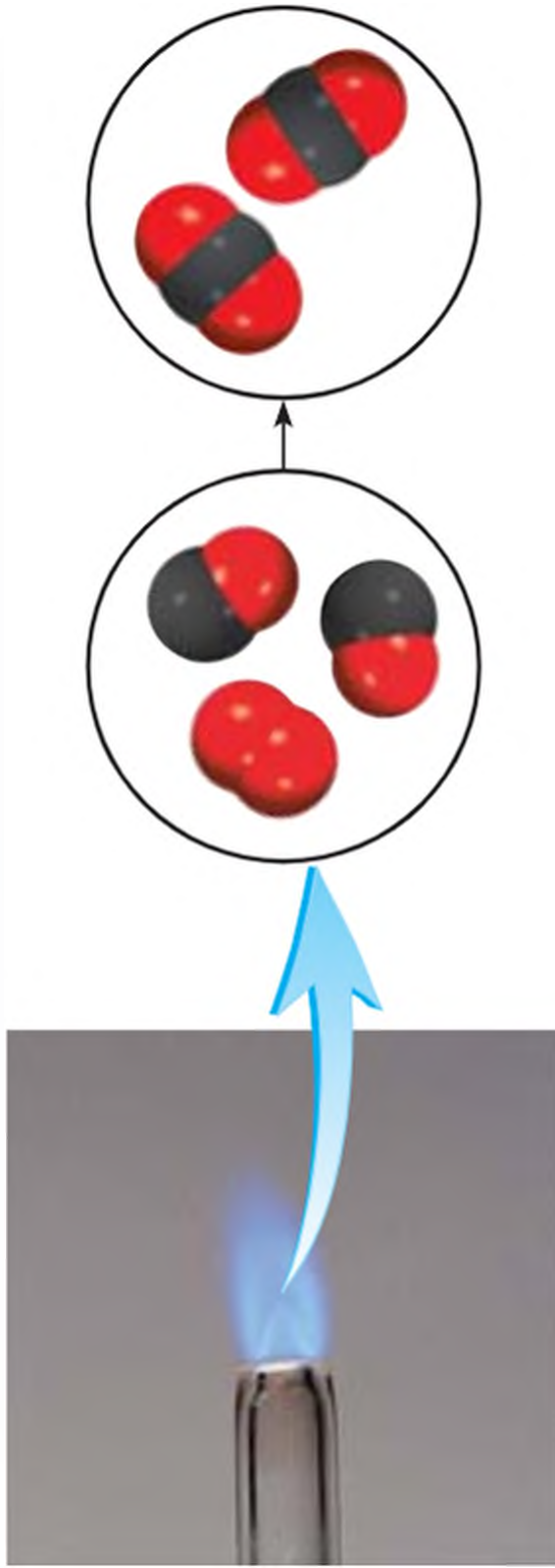
$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta H - \Delta(PV) \\ &= \Delta H - \Delta(nRT) \\ &= \Delta H - RT\Delta n \end{aligned} \quad (6.10)$$



Sodyum su ile hidrojen gazı açığa çıkarak tepkimeye girer.

1 L.atm = 101,3 J olduğunu hatırlayınız.

Tepkimeye giren gazların mol sayılarının tepkimeden çıkan gazların mol sayılarına eşit olduğu tepkimelerde [örneğin, $\text{H}_2(g) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{HF}(g)$], $\Delta U = \Delta H$ olur.



Karbon monoksit havada yanarak karbon dioksit verir.

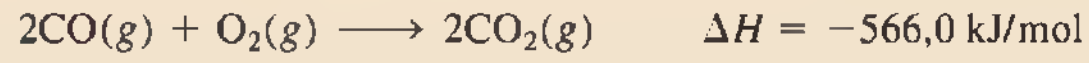
Berzer problem: 6.27.

elde edilir ve burada Δn ,

Δn = tepkimeden çıkan gazların mol sayıları toplamı – tepkimeye giren gazların mol sayıları toplamı, olarak tanımlanır.

Örnek 6.4

1 atm basınç ve 25°C'de 2 mol CO bileşiği 2 mol CO₂ bileşiğine dönüştüğünde iç enerjideki değişim ne olur?



İzlenecek Yol Entalpi değişimi ΔH veriliyor ve iç enerji değişiminin yani ΔU 'nın hesaplanması isteniyor. Bu durumda Eşitlik (6.10)'a ihtiyacımız vardır. Gazların mol sayısındaki değişim nedir? ΔH , kJ cinsinden veriliyor, R 'nin değerini hangi birimler cinsinden kullanmalıyız?

Çözüm Kimyasal tepkimeden 3 mol gazın, 2 mol gaza dönüştüğünü görüyoruz.

$$\begin{aligned} \Delta n &= \text{ürünlerdeki gazların mol sayıları toplamı} - \text{tepkimeye giren gazların mol sayıları toplamı} \\ &= 2 - 3 \\ &= -1 \end{aligned}$$

R 'nin değerini; 8,314 J/K · mol ve $T = 298 \text{ K}$ olarak Eşitlik (6.10)'dan

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta H - RT\Delta n \\ &= -566,0 \text{ kJ/mol} - (8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} \right) (298 \text{ K})(-1) \\ &= -563,5 \text{ kJ/mol} \text{ elde ederiz,} \end{aligned}$$

Kontrol 3 mol gaz, 2 mole dönüştüğü için gaz halindeki sistem sıkışmaya uğrar. Buna göre değer olarak $\Delta H > \Delta U$ olması mantıklı mıdır?

Alıştırma 1 atm ve 25°C'de 1 mol CO oluşmasındaki ΔU değeri nedir?



Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda gösterilen sabit-basınç süreçlerinden hangisinde ΔU ile ΔH arasındaki fark en kütüktür?

- (a) su \longrightarrow su buharı
- (b) su \longrightarrow buz
- (c) buz \longrightarrow su buharı

6.5 Kalorimetri

Laboratuvarlarda fiziksel ve kimyasal olaylardaki ısı değişimleri *kalorimetre* ile ölçülür. Kalorimetre bu amaçla tasarlanmış özel bir kapalı kaptır. Isı değişimlerinin ölçülmesi olan **kalorimetri** özgül ısı ve ısı kapasitesi kavramlarına dayanır. Bu nedenle önce onları ele alacağız.

Özgül Isı ve Isı Kapasitesi

Özgül ısı (s), bir maddenin 1 gramının sıcaklığını bir derece Celsius yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır. Birimi $J/g \cdot ^\circ C$ 'dir. **Isı kapasitesi (C)** ise belirli bir miktardaki maddenin sıcaklığını bir derece Celsius ($1^\circ C$) yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır. Birimi ise $J/^\circ C$ 'dir. Özgül ısı bir şiddet özelliği iken ısı kapasitesi bir kapasite özelliğidir. Isı kapasitesi ile özgül ısı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi verilir.

$$C = ms \quad (6.11)$$

burada m , gram olarak maddenin kütlesidir. Örneğin suyun özgül ısısı, $4,184 J/g \cdot ^\circ C$ 'dir ve buna göre $60,0 g$ suyun ısı kapasitesi şöyle hesaplanır:

$$(60,0 g)(4,184 J/g \cdot ^\circ C) = 251 J/^\circ C$$

Çizelge 6.2'de bazı çok bilinen maddelerin özgül ısıları verilmiştir.

Eğer bir işlemde maddenin özgül ısısını ve miktarını biliyorsak Δt sıcaklık değişiminde alınan ya da salınan ısı miktarını (q) hesaplayabiliriz. Isı değişimini hesaplamak için gerekli eşitlikler şöyledir.

$$q = ms\Delta t \quad (6.12)$$

$$q = C\Delta t \quad (6.13)$$

Burada Δt sıcaklık değişimidir ve şöyle bulunur:

$$\Delta t = t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}$$

q değerinin işareti entalpinin işareti ile aynıdır. Endotermik olaylar için q pozitif, ekzotermik olaylar için negatiftir.

Çizelge 6.2

**Bazı Maddelerin
Özgül Isı Değerleri**

Madde	Özgül Isı ($J/g \cdot ^\circ C$)
Al	0,900
Au	0,129
C (grafit)	0,720
C (elmas)	0,502
Cu	0,385
Fe	0,444
Hg	0,139
Pb	0,158
H ₂ O	4,184
C ₂ H ₅ OH (etanol)	2,46

Örnek 6.5

466 g'lık bir su örneği $8,50^\circ C$ 'dan $74,60^\circ C$ 'a kadar ısıtılıyor. Su tarafından soğurulan ısı miktarını kJ olarak hesaplayınız.

İzlenecek Yol Suyun miktarını ve özgül ısısını biliyoruz. Bu bilgileri ve sıcaklıktaki yükselmeyi de kullanarak, soğurulan ısı miktarını (q) hesaplayabiliriz.

Çözüm Eşitlik (6.12)'yi kullanarak.

$$\begin{aligned} q &= ms\Delta t \\ &= (466 g)(4,184 J/g \cdot ^\circ C)(74,60^\circ C - 8,50^\circ C) \\ &= 1,29 \times 10^5 J \times \frac{1 kJ}{1000 J} \\ &= 129 kJ \end{aligned}$$

Kontrol Birimlerden, g ve $^\circ C$ 'lar birbirini götürür ve istenen kJ birimi geriye kalır. Çevreden ısı alındığı için q işareti pozitiftir.

Aıştırma 8,69 g'lık bir demir çubuk $94^\circ C$ 'dan $5^\circ C$ 'a kadar soğutuluyor. Metal tarafından salınan ısı miktarını kJ olarak hesaplayınız.

Benzer problem: 6.33.

“Sabit hacim” tepkime kabının hacminin tepkime sırasında değişmemesi demektir. “Kalorimetre bombası” teriminin anlamı tepkimenin fazla oksijen ile küçük ölçekte patlama tabiatlı olmasıdır.

Sabit-Hacim Kalorimetresi

Belirli bir miktardaki bileşiğin yanma ısısı için, çelikten yapılmış ve 30 atm oksijenle doldurulmuş *sabit hacim kalorimetre bombasında* ölçülür. Kapalı kalorimetre bombası Şekil 6.8’de gösterildiği gibi, belirli miktardaki suya daldırılır. Numune elektrik kullanılarak ateşlenir ve yanma tepkimesi sonucu açığa çıkan ısı, suyun sıcaklığındaki artıştan hassas olarak hesaplanır. Örneğin yanmasıyla açığa çıkan ısı, su ve kalorimetre bombası tarafından soğutulur. Kalorimetre çevreye ısı veya kütle aktarımı olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla bomba ve suyu içeren sistem yalıtılmış sistem olarak adlandırılabilir. Süreç sırasında sisteme ısı giriş çıkışı olmadığından sistemin ısı değişimi (q_{sistem}) sıfır olmalıdır.

$$\begin{aligned} q_{\text{sistem}} &= q_{\text{kal}} + q_{\text{tep}} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (6.14)$$

Burada q_{kal} ve q_{tep} , sırasıyla kalorimetre ve tepkimenin ısı değişimidir. Buna göre,

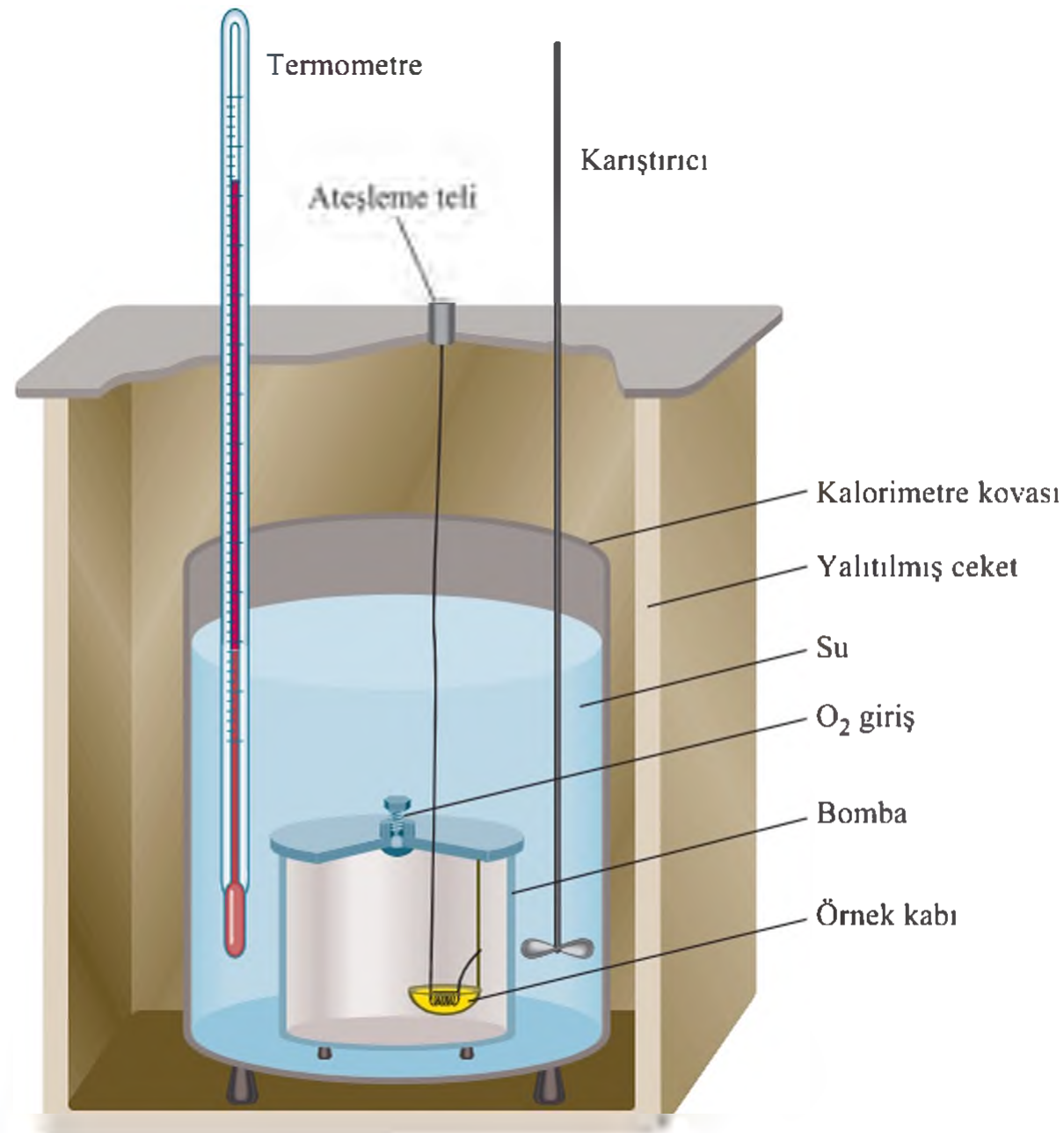
$$q_{\text{tep}} = -q_{\text{kal}} \quad (6.15)$$

olur. q_{kal} miktarını hesaplamak için kalorimetrenin ısı kapasitesini (C_{kal}) ve sıcaklıktaki artışı bilmemiz gerekir.

$$q_{\text{kal}} = C_{\text{kal}} \Delta t \quad (6.16)$$

Kalorimetrenin C_{kal} değeri, yanma ısısı tam olarak bilinen bir madde yakılarak bulunur, yani kalibre edilir. Örneğin, yanma ısısı tam olarak bilinen 1g benzoik asitin

Şekil 6.8 Sabit hacimli kalorimetre bombası. Kalorimetre, önce oksijenle doldurulur ve büyük bir kaba yerleştirilir. Örnek elektrikle tutuşturulur ve tepkimede açığa çıkan ısı, kalorimetrede bulunan suyun sıcaklığındaki artışın ölçülmesiyle bulunur.



(C₆H₅COOH), yanması ile 26,42 kJ ısı açığa çıkar. Bu yanma sonucu sıcaklık 4,673°C yükseldiğine göre, kalorimetrenin ısı kapasitesi şöyle bulunur.

$$C_{\text{kal}} = \frac{q_{\text{kal}}}{\Delta t} = \frac{26,42 \text{ kJ}}{4,673^\circ\text{C}} = 5,654 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$$

Yanma tepkimesi ekzotermik olduğu halde q_{kal} , kalorimetre tarafından soğurulan ısıyı temsil ettiği için pozitif değerlidir.

C_{kal} değeri bir defa belirlendikten sonra, diğer bütün maddelerin yanma ısılarını bulmada kullanılabilir.

Kalorimetre bombasında tepkimeler sabit basınç değil, sabit-hacim koşullarında gerçekleştiği için ısı değişimleri doğrudan entalpi değişimine (ΔH) karşı gelmez (bak. Kesim 6.4). ΔH değerlerini bulabilmemiz için düzeltme yapmamız gerekir. Genellikle fark o kadar küçüktür ki burada bunu dikkate bile almayacağız. Son olarak, yakıt ve yiyeceklerin enerji içeriğini sabit-hacim kalorimetresi ile kalori cinsinden (1 cal = 4,184 J) bulunabildiğini unutmamak gerekir.

Örnek 6.6

Güve kovucu olarak kullanılan keskin kokulu naftalinin 1,435 g'lık miktarı sabit-hacim kalorimetresinde yakılıyor. Kalorimetredeki suyun sıcaklığı 20,28°C'dan 25,95°C'a yükseliyor. Kalorimetre bombası ve suyun toplam ısı kapasitesi, 10,17 kJ/°C olduğuna göre, naftalinin yanma ısısını, diğer bir deyişle molar yanma ısısını hesaplayınız.

İzlenecek Yol Isı kapasitesi ve sıcaklık yükselmesi bilindiğine göre, kalorimetrenin aldığı ısı nasıl bulunur? 1,435 g naftalin yandığı zaman açığa çıkan ısı miktarı nedir? Naftalinin gramı ile molü arasındaki çevirme faktörü nedir?

Çözüm Kalorimetre bombası ve su tarafından alınan ısı, ısı kapasitesi ile sıcaklık farkının çarpımına eşittir. Çevreye ısı kaybının olmadığı kabulü ile Eşitlik (6.16)'dan

$$\begin{aligned} q_{\text{kal}} &= C_{\text{kal}} \Delta t \\ &= (10,17 \text{ kJ/}^\circ\text{C})(25,95^\circ\text{C} - 20,28^\circ\text{C}) \\ &= 57,66 \text{ kJ} \end{aligned}$$

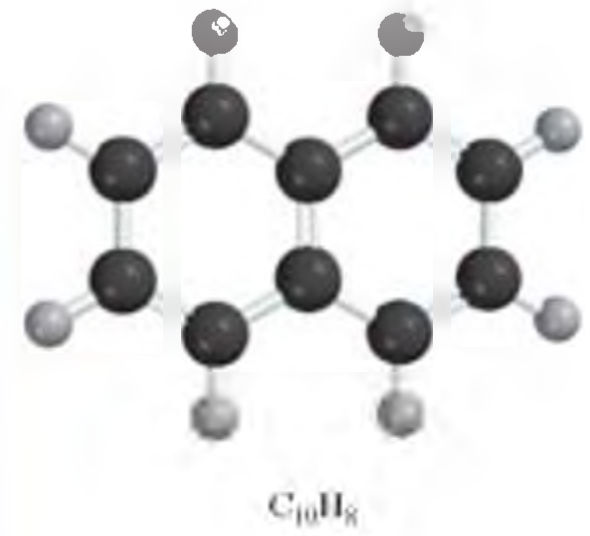
bulunur. $q_{\text{sis}} = q_{\text{kal}} + q_{\text{tep}} = 0$ olduğu için $q_{\text{kal}} = -q_{\text{tep}}$ 'dir. Tepkimedeki ısı değişimi -57,66 kJ'dür. Bu miktar 1,435 g C₁₀H₈'nın yanması ile açığa çıkan ısı miktarıdır. Dolayısıyla çevirme faktörünü,

$$\frac{-57,66 \text{ kJ}}{1,435 \text{ g C}_{10}\text{H}_8}$$

olarak yazabiliriz. Naftalinin mol kütlesi 128,2 g'dır. Bir mol naftalinin yanma ısısı,

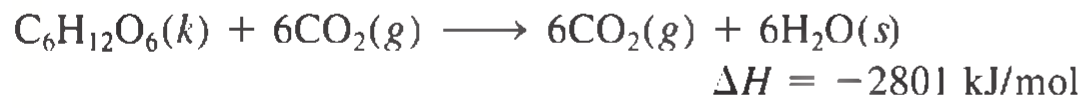
$$\begin{aligned} \text{molar yanma ısısı} &= \frac{-57,66 \text{ kJ}}{1,435 \text{ g C}_{10}\text{H}_8} \times \frac{128,2 \text{ g C}_{10}\text{H}_8}{1 \text{ mol C}_{10}\text{H}_8} \\ &= -5,151 \times 10^3 \text{ kJ/mol} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

(Devamı)



Beyaz Yağ Hücreleri, Kahverengi Yağ Hücreleri ve Obezite İçin Potansiyel Tedavi

Yediğimiz yiyecekler enzim adı verilen bir grup karmaşık biyolojik moleküllerle basamaklar halinde parçalanır. Her bir basamakta açığa çıkan enerji, bir işlev veya büyüme için kullanılır. Metabolizmanın ilginç bir yönü, toplam enerjideki değişimin yanma olayı ile aynı olmasıdır. Örneğin: glikozun ($C_6H_{12}O_6$) karbon dioksit ve su vermek üzere yanmasındaki toplam entalpi değişimi, maddeyi havada yakmamıza ve vücudumuzda sindirmemize bağlı olmaksızın aynıdır:



Yiyeceklerin enerji içeriği genel olarak kalori ile ölçülür. Kalori (cal) SI birimi değildir bir kalori 4,184 J'e eşittir.

$$1 \text{ kal} = 4,184 \text{ J}$$

Beslenme bağlamında kaloriden konuştuğumuzda, bazen “büyük kalori, C” anlamında, kilokaloriden bahsetmiş oluruz:

$$1 \text{ Kal} = 1000 \text{ kal} = 4184 \text{ J}$$

Kesim 6.5'da tanımlanan kalorimetre bombası, yiyeceklerin enerji içeriğini veya “yakıt değerini” ölçmek için son derece uygundur(çizelgeye bakınız).

Yiyeceklerden gelen fazla enerji vücutta yağ şeklinde depolanır. Yağlar bir grup organik bileşiklerdir (gliserin ve yağ asitlerinin triesterleri) ve organik çözücülerde çözünürler, ancak suda çözünmezler. İki cins yağ hücresi vardır; beyaz yağ hücreleri (BYH) ve kahverengi yağ hücreleri(KYH). Beyaz yağ hücreleri vücut fonksiyonları için gerektiğinde kullanılmak üzere ta-

Besinlerin Yakıt Değerleri

Madde	ΔH_{yanma} (kJ/g)
Elma	-2
Biftek	-8
Bira	-1.5
Ekmek	-11
Yağ	-34
Peynir	-18
Yumurta	-6
Süt	-3
Patates	-3

sarlanmışlardır. Cilt altında iç organların etrafında birikir ve vücudu yalıtır. Obez insanların vücudunda BYH içeriği yüksektir. Diğer taraftan KYH, hücre içerisinde bir alt birim olan mitokondrileri yüksek derişimde içerir. KYH'nin başlıca görevi yağ moleküllerini yakmak ve ısı üretmektir. Kahverengi yağ hücresi adı, mitokondrilerin demir içermesi ve dokuya kırmızımsı kahve renk vermesindendir. Kahverengi yağ hücrelerinin bebeklerde bulunduğu, ancak yetişkinlikte büyük ölçüde kaybolduğuna inanılırdı.

Bununla beraber, 2009 yılında yapılan birçok çalışma, yetişkinlerin metabolik olarak aktif KYH'ne sahip olduklarını göstermiştir. Yapılan bir çalışmada, soğuğa ve oda sıcaklığına maruz bırakılan 24 kişi için kaydedilen “pozitron emisyon tomografi ve bilgisayarlı tomografi(PET/CT)” sonuçları, soğukta KYH'nin ısı üretmek üzere yağ hücrelerini yaktıkça aktif hale

Kontrol Yanma tepkimesinin ekzotermik ve naftalinin mol kütlelerinin de 1.4 gramdan daha büyük olduğunu biliyoruz. Buna göre, sonuç mantıklı mıdır? Tepkime koşullarındaki ısı değişimi (-57,66 kJ), tepkimenin entalpi değişimine eşit olur mu?

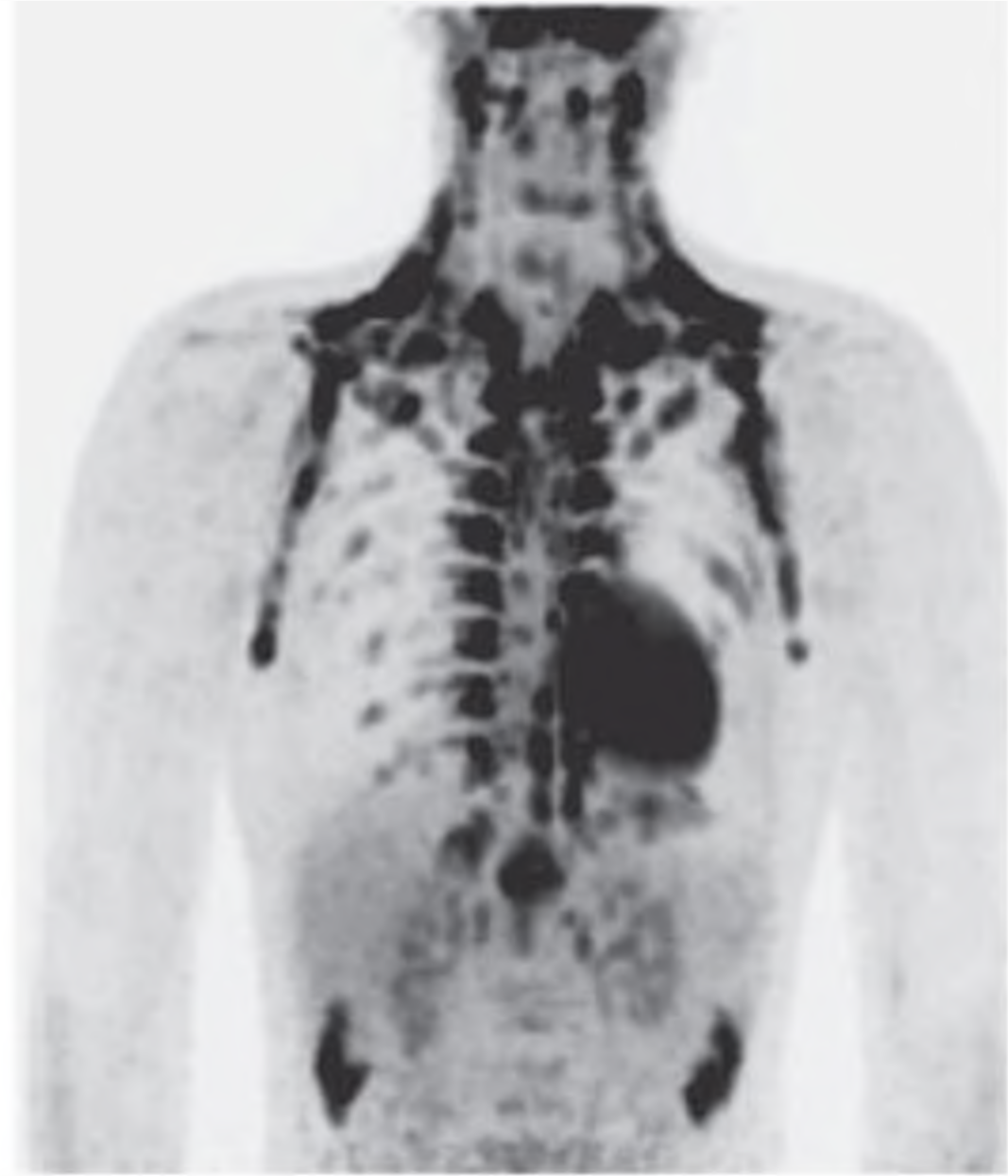
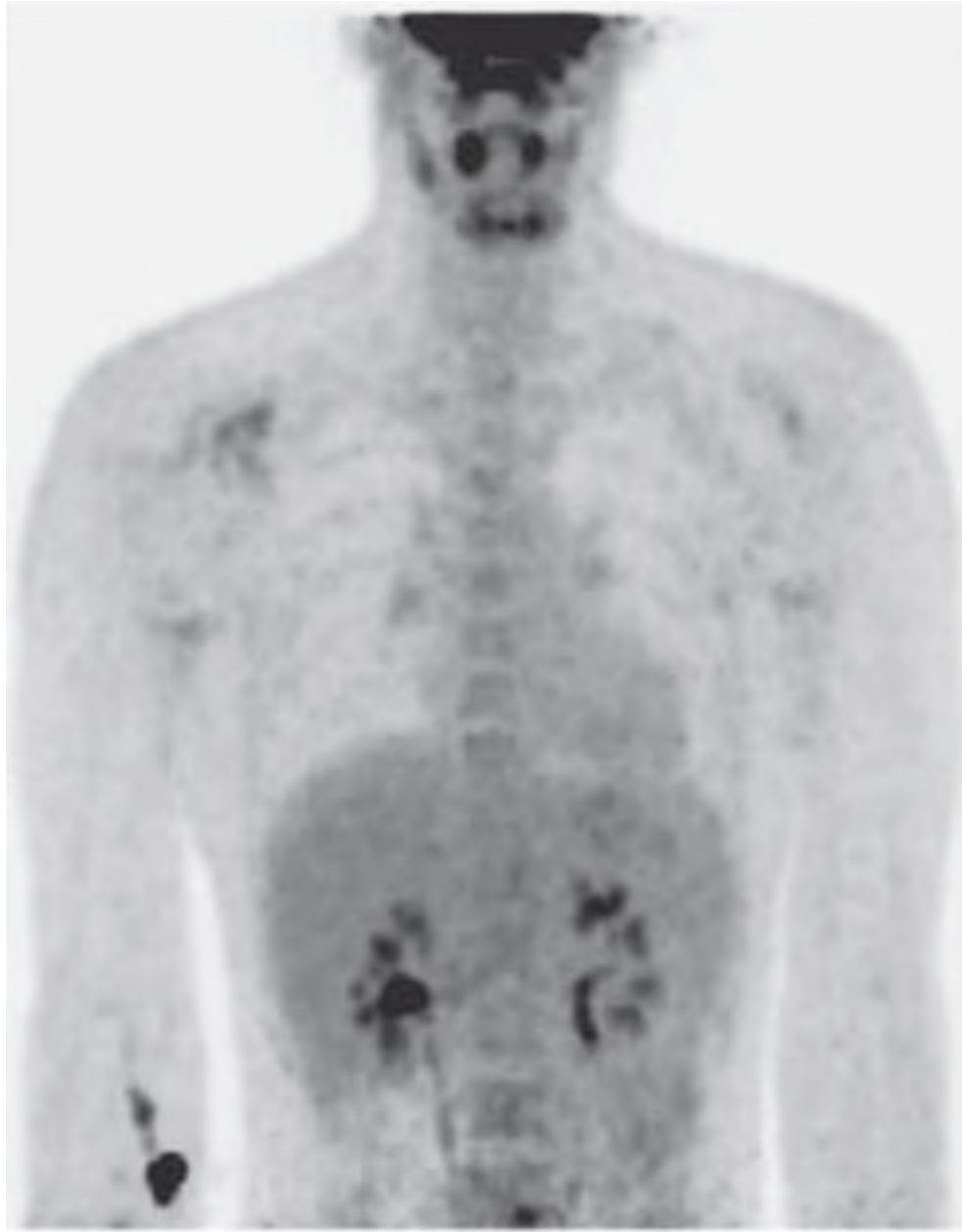
Alıştırma 1,922 g'lık bir metanol (CH_3OH) örneği sabit- hacim kalorimetresinde yakılıyor ve suyun sıcaklığı 4,20°C yükseliyor. Bombanın ve suyun toplam ısı kapasitesi 10,4 kJ/°C olduğuna göre, metanolün molar yanma ısısını bulunuz.

Berzer problem m: 6.37.

geldiğini göstermiştir (bak.Şekil). Ayrıca zayıf insanların obez insanlara kıyasla daha aktif KYH bulundurduğu görülmüştür.

Obezite, Birleşik Devletlerde önemli bir sağlık tehlikesidir. Obezite için tedavi, enerji tüketimini azaltmaya dayanan diyet veya vücudun enerji ihtiyacını artırmaya dayalı egzersiz yapmaya yoğunlaşır. Obeziteye karşı kullanılan ilaçların çoğu, tedavinin yarısını oluşturan diyet üzerinedir. Eğer bilim adam-

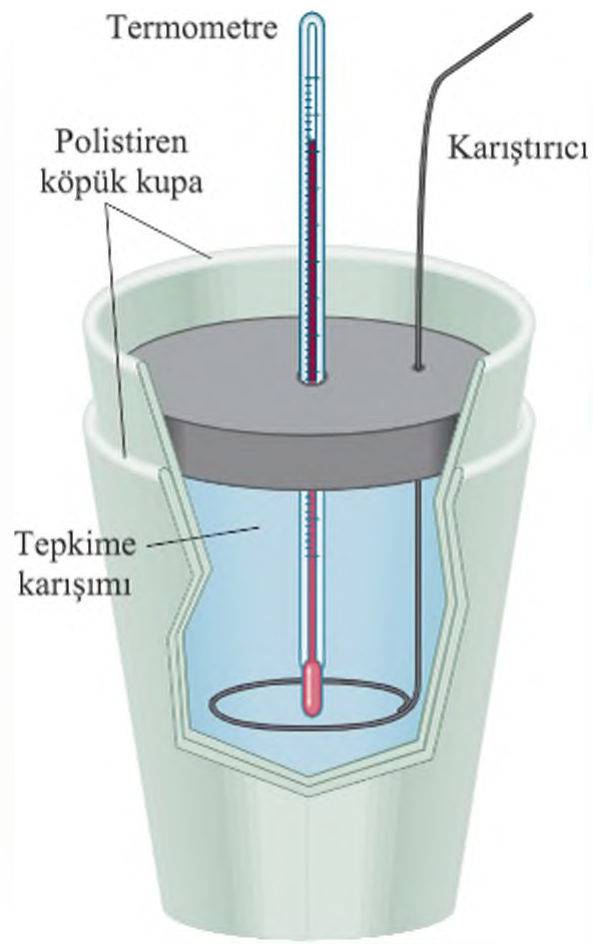
ları beyaz yağ hücrelerini (BYH) kahverengi yağ hücrelerine (KYH) biyolojik yollarla dönüştürme yollarını bulabilirlerse, iştah azaltmadan enerji harcanmasını esas alarak obezite ile savaşan ilaçları geliştirebileceklerdir. Bununla ilgili işaretler tümit vericidir. Soğuk bir ortamda bir kişi egzersiz yapmadan bile hedefine ulaşabilecektir.



PET/CT taramaları. Soldaki:oda sıcaklığına maruz bırakılan bir kişi. Sağdaki: soğuğa maruz bırakılan bir kişi.

Sabit – Basınç Kalorimetrisi

Sabit-basınç kalorimetresi, sabit-hacim kalorimetresinden daha basit bir düzendir. Bu kalorimetri, yanmanın olmadığı tepkimelerin ısı değişimlerinin bulunmasında da kullanılır. Basit bir sabit-basınç kalorimetresi (Şekil 6.9), iç içe geçmiş iki polistiren kupadan oluşturulabilir. Bu düzenek, asit-baz nötralleşme tepkimeleri gibi çeşitli tepkimelerin ısılarını, çözelti oluşum ısılarını ve seyrelme ısılarını ölçmede kullanılabilir. Basınç sabit olduğundan işlemin ısı değişimini (q_{tp}) entalpi değişimine (ΔH) eşittir. Sabit



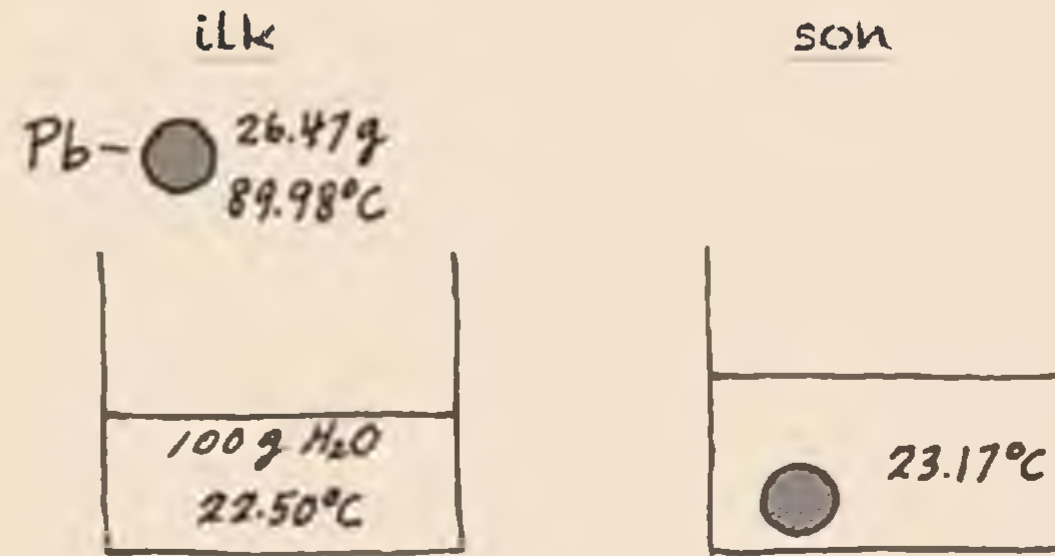
Şekil 6.9 Sabit basınç kalorimetresi, iç içe geçmiş iki polistiren kahve kupasından oluşur. Dıştaki kupa, tepkime karışımını çevreden yalıtımaya yarar. Aynı sıcaklıkta, belirli hacimdeki iki tepken kalorimetrede dikkatlice karıştırılır. Tepkimede salınan veya soğurulan ısı miktarı, sıcaklıktaki değişim ölçülerek bulunur.

hacim kalorimetresinde olduğu gibi, kalorimetre yalıtılmış bir sistem olarak ele alınır. Hesaplamalarda kahve kupalarının küçük olan ısı kapasiteleri ihmal edilir. Çizelge 6.3’de sabit-basınç kalorimetresi ile bulunan bazı tepkime ısıları gösterilmiştir.

Örnek 6.7

89,98°C’de, 26,47 g kurşun parçası (Pb), ısı kapasitesi ihmal edilebilir büyüklükte olan ve içerisinde 100 mL su bulunan bir sabit-basınç kalorimetresine yerleştiriliyor. Suyun sıcaklığı 22,50°C’den 23,17°C’a yükseliyor. Kurşunun özgül ısısı nedir?

İzlenecek Yol İlk ve son durumun şeması aşağıda verildiği gibidir.



İlk ve son sıcaklıkları, suyun ve kurşunun kütlelerini biliyoruz. Çevreye ısı aktarımının olmadığını kabul edersek, kurşun tarafından kaybedilen ısı su tarafından alınan ısıya eşit olduğunu anlayabiliriz. Suyun özgül ısını bildiğimizden, kurşunun özgül ısını hesaplayabiliriz.

Çözüm Kalorimetreyi yalıtılmış bir sistem olarak (çevreye ısı aktarımı yok) ele alırsak:

$$q_{\text{Pb}} + q_{\text{H}_2\text{O}} = 0$$

veya

$$q_{\text{Pb}} = -q_{\text{H}_2\text{O}}$$

yazabiliriz. Su tarafından alınan ısı miktarı

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = ms\Delta t$$

burada m ve s , sırasıyla kütle ve özgül ısılardır. $\Delta t = t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}$ ’dir. Öyleyse,

$$\begin{aligned} q_{\text{H}_2\text{O}} &= (100,0 \text{ g})(4,184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C})(23,17^\circ\text{C} - 22,50^\circ\text{C}) \\ &= 280,3 \text{ J} \end{aligned}$$

Kurşun parçası tarafından kaybedilen ısı, su tarafından alınan ısıya eşit olduğundan $q_{\text{Pb}} = -280,3 \text{ J}$ ’dur. Pb’nın özgül ısısı için çözerek

$$\begin{aligned} q_{\text{Pb}} &= ms\Delta t \\ -280,3 \text{ J} &= (26,47 \text{ g})(s)(23,17^\circ\text{C} - 89,98^\circ\text{C}) \\ s &= 0,158 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \text{ buluruz.} \end{aligned}$$

Benzer problem: 6.88.

Alıştırma 117,82 °C’deki 30,14 g paslanmaz çelikten yapılmış rulman yatağı bilyesi, 18,44°C’da 120,0 mL su içerisine konuluyor. Bilyenin özgül ısının 0,474 J/g °C olduğu bilindiğine göre, suyun son sıcaklığını bulunuz. Kalorimetrenin ısı kapasitesinin ihmal edilebilir büyüklükte olduğunu kabul ediniz.

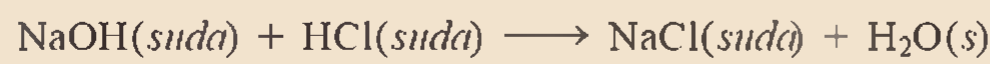
Çizelge 6.3 Bazı Tepkimelerin Sabit Basıncıta Ölçülen Isıları

Tepkime	Örnek	ΔH (kJ/mol)
Nötralleşme ısısı	$\text{HCl}(suda) + \text{NaOH}(suda) \longrightarrow \text{NaCl}(suda) + \text{H}_2\text{O}(s)$	-56,2
İyonlaşma ısısı	$\text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow \text{H}^+(suda) + \text{OH}^-(suda)$	56,2
Erime ısısı	$\text{H}_2\text{O}(k) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(s)$	6,01
Buharlaşma ısısı	$\text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$	44,0*
Tepkime ısısı	$\text{MgCl}_2(k) + 2\text{Na}(s) \longrightarrow 2\text{NaCl}(k) + \text{Mg}(k)$	-180,2

*25°C'daki değerdir. 100°C'daki değer 40,79 kJ'dür.

Örnek 6.8

Isı kapasitesi ihmal edilebilir büyüklükte olan bir sabit-basınç kalorimetresinde 0,500 M $1,00 \times 10^2$ mL HCl ile 0,500 M $1,00 \times 10^2$ mL NaOH karıştırılıyor. HCl ve NaOH çözeltilerinin ilk sıcaklıkları eşit olup, 22,50 °C'dır. Çözelti karışımının son sıcaklığı ise 25,86°C olarak ölçülmüştür. Buna göre aşağıda verilen tepkimenin mol bazında nötralleşme ısını bulunuz.



Çözeltilerin yoğunluklarının ve özgül ısılarının su ile aynı (yoğunluk: 1,00 g/mL ve özgül ısı: 4,184 J/g · °C) olduğunu kabul ediniz.

İzlenecek Yol Sıcaklık arttığı için nötralleşme tepkimesi ekzotermiktir. Toplam çözelti tarafından soğurulan ısı miktarını nasıl hesaplarız? Tepkime ısısı nedir? Mol başına tepkime ısını bulmak için çevirme faktörü nedir?

Çözüm Çevreye ısı kaybının olmadığını kabul ederek $q_{\text{sis}} = q_{\text{çözelti}} + q_{\text{tep}} = 0$ olduğundan $q_{\text{tep}} = -q_{\text{çözelti}}$ 'dir. Burada $q_{\text{çözelti}}$ olarak gösterilen, toplam çözelti tarafından soğurulan ısı miktarıdır. Çözeltinin yoğunluğu 1,00 g/mL olduğundan 100 mL çözeltinin kütlesi 100 g'dır. Böylece,

$$\begin{aligned} q_{\text{çöz.}} &= ms\Delta t \\ &= (1,00 \times 10^2 \text{ g} + 1,00 \times 10^2 \text{ g})(4,184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C})(25,86^\circ\text{C} - 22,50^\circ\text{C}) \\ &= 2,81 \times 10^3 \text{ J} \\ &= 2,81 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$q_{\text{tep}} = -q_{\text{çözelti}}$ olduğundan $q_{\text{tep}} = -2,81 \text{ kJ}$ 'dir.

Verilen molarite değerlerini kullanarak $1,00 \times 10^2$ mL HCl veya NaOH çözeltilerindeki maddelerin mol sayısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{0,500 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \times 0,100 \text{ L} = 0,0500 \text{ mol}$$

Öyleyse, 1,00 mol HCl 1,00 mol NaOH ile tepkimeye girdiğinde nötralleşme ısısı;

$$\text{nötralleşme ısısı} = \frac{-2,81 \text{ kJ}}{0,0500 \text{ mol}} = -56,2 \text{ kJ/mol} \text{ olur.}$$

Kontrol Nötralleşme ısının işareti, tepkimenin doğası ile uyumlu mudur? Tepkime şartlarında ısı değişimi entalpi değişimine eşit midir?

(Devamı)

Benzer problem: 6.38.

Alıştırma Isı kapasitesi ihmal edilebilir büyüklükte olan bir sabit-basınç kalorimetresinde; 0,600 M, $4,00 \times 10^2$ mL HNO_3 ile 0,300 M, $4,00 \times 10^2$ mL $\text{Ba}(\text{OH})_2$ karıştırılıyor. Çözeltilerin ilk sıcaklıkları aynı olup $18,46^\circ\text{C}$ 'dır. Çözeltinin son sıcaklığı ne olur? (Örnek 6.8'deki sonucu hesaplamalarınızda kullanınız)

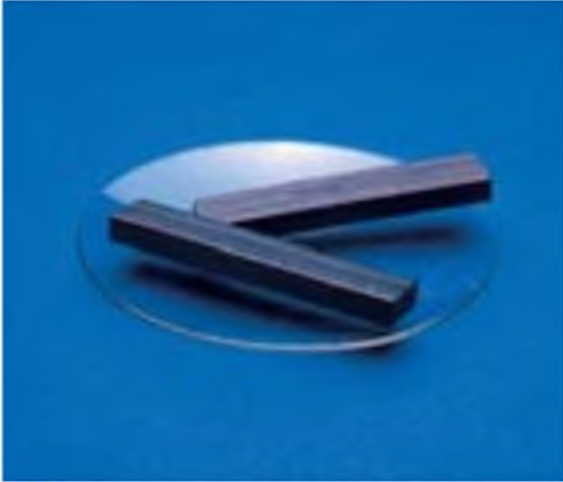
Kavramların Değerlendirilmesi

1 g Al ve 1 g Fe örneği 40°C 'dan 100°C 'a ısıtılıyor. Hangi metal daha fazla ısı soğurur?

6.6 Standart Oluşum Entalpisi ve Tepkime

Buraya kadar bir tepkimenin entalpi değişimini, sabit basınçta tepkimede alınan veya salınan ısı miktarını ölçerek bulabileceğimizi öğrendik. Tepkimeye giren maddelerin ve ürünlerin entalpi değerleri bilindiğinde, Eşitlik (6.9) ile tepkime entalpisini bulabiliriz. Daha önce bahsettiğimiz gibi, bir maddenin entalpisinin *tam* değerini ölçmemiz mümkün değildir. Ancak, entalpi değerleri, keyfi olarak seçilen bir referansa *kıyasla* belirlenebilir. Bu işlem coğrafyacıların belirli bir dağın veya yaylanın yüksekliğini vermede karşılaştıkları güçlüğü benzer. Tam bu yükseklik eşeli yapabilmeleri için nereyi referans alacaklardır, belki de dünyanın merkezini? Bu problemi aralarındaki ortak bir kabul ile bütün yükseklik ve derinlikler için deniz seviyesini referans alarak çözmüşler ve deniz seviyesini “sıfır” metre kabul etmişlerdir. Benzer şekilde kimyacılar da entalpi için bir referans nokta belirlemişlerdir.

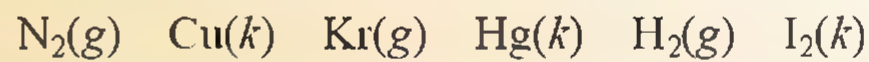
Entalpi hesaplamalarında “deniz seviyesi”ne benzer şekilde kabul edilen referans **standart oluşum entalpisi** ($\Delta H^\circ_{\text{ol}}$). Maddeler, 1 atm¹ basınçta **standart halde** kabul edilebilir ve bu şartlarda “standart entalpi”lerinden bahsedilebilir. “o” üst indisi standart koşulu (1 atm), “ol” alt indisi ise standart oluşum entalpisini göstermek için kullanılır. Tanım olarak, *en kararlı halinde bulunan herhangi bir elementin standart oluşum entalpisi sıfırdır*. 25°C ve 1 atm'de oksijen molekülü (O_2) diğer allotropu olan ozondan (O_3) daha karardır. Dolayısıyla $\Delta H^\circ_{\text{ol}}(\text{O}_2) = 0$ yazabiliriz. Ancak ozon için $\Delta H^\circ_{\text{ol}}(\text{O}_3) = 142,2$ kJ/mol'dür. Benzer şekilde 25°C ve 1 atm koşullarında grafit elmasa kıyasla daha kararlı allotropdur. Dolayısıyla $\Delta H^\circ_{\text{ol}}(\text{C, grafit}) = 0$ ve $\Delta H^\circ_{\text{ol}}(\text{C, elmas}) = 1,90$ kJ/mol'dür. Elementler için bu referansları dikkate alarak bir bileşiğin oluşum entalpisi: *1 atm basınçta bileşiğin elementlerinden oluştuğunda meydana gelen ısı değişimi olarak tanımlayabiliriz*. Çizelge 6.4'de bazı element ve bileşiklerin oluşma entalpileri verilmiştir (daha kapsamlı bir liste için Ek 3'e bakınız). Burada standart hal sıcaklık için bir şart belirtmemekle birlikte, termodinamik verilerin çoğu 25°C 'da toplandığı için sıcaklığı 25°C alınız.



Grafit (üstte) ve elmas (altta).

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdakilerin hangisi için 25°C 'da $\Delta H^\circ_{\text{ol}} = 0$ 'dır.



¹Termodinamikte standart basınç 1 bar olarak tanımlanır. 1 bar = 10^5 Pa = 0,987 atm'dir. 1 bar 1 atm'den yüzde 1,3 farklı olduğu için, 1 atm'i standart basınç olarak kullanmaya devam edeceğiz. Bir maddenin normal erime ve kaynama noktasının 1 atm'de verildiğine dikkat ediniz.

Çizelge 6.4 Bazı İnorganik Maddelerin 25°C' de Standart Oluşum Entalpileri

Madde	$\Delta H_{ol}^{\circ}(\text{kJ/mol})$	Madde	$\Delta H_{ol}^{\circ}(\text{kJ/mol})$
Ag(<i>k</i>)	0	H ₂ O ₂ (<i>s</i>)	-187,6
AgCl(<i>k</i>)	-127,0	Hg(<i>s</i>)	0
Al(<i>k</i>)	0	I ₂ (<i>k</i>)	0
Al ₂ O ₃ (<i>k</i>)	-1669,8	HI(<i>g</i>)	25,9
Br ₂ (<i>s</i>)	0	Mg(<i>k</i>)	0
HBr(<i>g</i>)	-36,2	MgO(<i>k</i>)	-601,8
C(grafit)	0	MgCO ₃ (<i>k</i>)	-1112,9
C(elmas)	1,90	N ₂ (<i>g</i>)	0
CO(<i>g</i>)	-110,5	NH ₃ (<i>g</i>)	-46,3
CO ₂ (<i>g</i>)	-393,5	NO(<i>g</i>)	90,4
Ca(<i>k</i>)	0	NO ₂ (<i>g</i>)	33,85
CaO(<i>k</i>)	-635,6	N ₂ O(<i>g</i>)	81,56
CaCO ₃ (<i>k</i>)	-1206,9	N ₂ O ₄ (<i>g</i>)	9,66
Cl ₂ (<i>g</i>)	0	O(<i>g</i>)	249,4
HCl(<i>g</i>)	-92,3	O ₂ (<i>g</i>)	0
Cu(<i>k</i>)	0	O ₃ (<i>g</i>)	142,2
CuO(<i>k</i>)	-155,2	S(rombik)	0
F ₂ (<i>g</i>)	0	S(monoklinik)	0,30
HF(<i>g</i>)	-271,6	SO ₂ (<i>g</i>)	-296,1
H(<i>g</i>)	218,2	SO ₃ (<i>g</i>)	-395,2
H ₂ (<i>g</i>)	0	H ₂ S(<i>g</i>)	-20,15
H ₂ O(<i>g</i>)	-241,8	Zn(<i>k</i>)	0
H ₂ O(<i>s</i>)	-285,8	ZnO(<i>k</i>)	-348,0

Standart oluşum entalpileri bilindiğinde bir *tepkimenin standart entalpisinin* (ΔH_{tep}°) kolayca hesaplanabilmesi nedeniyle, standart oluşum entalpileri oldukça önemlidir. ΔH_{tep}° 1 atm basınçta gerçekleşen tepkimenin entalpi değişimidir. Aşağıda verilen hayali bir tepkimeyi dikkate alalım,



burada *a*, *b*, *c*, stokiyometrik katsayılarıdır. Bu tepkime için ΔH_{tep}° aşağıdaki gibi verilir

$$\Delta H_{tep}^{\circ} = [c\Delta H_{ol}^{\circ}(C) + d\Delta H_{ol}^{\circ}(D)] - [a\Delta H_{ol}^{\circ}(A) + b\Delta H_{ol}^{\circ}(B)] \quad (6.17)$$

Eşitlik (6.17)'yi genelleştirirsek

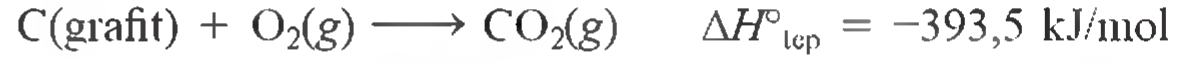
$$\Delta H_{tep}^{\circ} = \sum n\Delta H_{ol}^{\circ}(\text{ürünler}) - \sum m\Delta H_{ol}^{\circ}(\text{tepkenler}) \quad (6.18)$$

yazabiliriz. Burada *m* ve *n*, tepkenlerin ve ürünlerin stokiyometrik katsayılarıdır. Σ (sigma) işaretinin anlamı “toplamı”dır. Hesaplamalarda stokiyometrik katsayıların sadece birimsiz sayılar olduğuna dikkat ediniz.

Bir tepkimenin ΔH_{tep}° değerini bulabilmek için Eşitlik (6.18) kullanılabilir. Hesaplama yapmak için tepkimede yer alan maddelerin ΔH_{ol}° değerlerini bilmemiz gerekir. Bu değerleri belirlemek için *dolaylı* ve *doğrudan* yöntemler kullanılabilir.

Doğrudan Yöntem

Bu yöntemle ΔH_{ol}° değerlerinin belirlenmesi doğrudan doğruya elementlerinden sentezlenebilen bileşiklere uygulanabilir. Örneğin, karbon dioksitin oluşum entalpisini bulmak isteyelim. Bunun için standart haldeki karbonun (grafit) ve oksijen molekülünün karbon dioksite dönüşmesi tepkimesine ait entalpiyi ölçmeliyiz.



Deneyimlerimizden, bu yanma tepkimesinin kolayca tamamlandığını biliriz. Dolayısıyla Eşitlik (6.18)'den

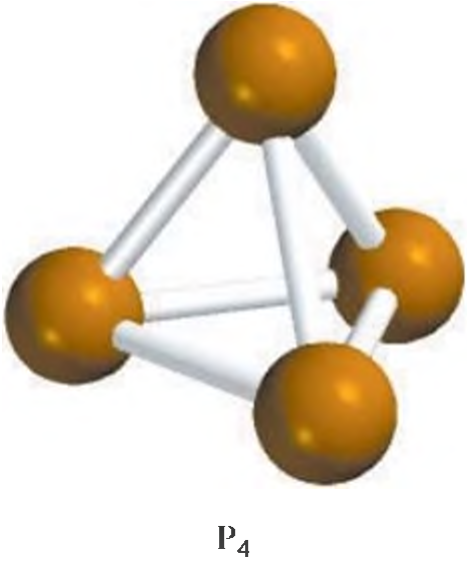
$$\begin{aligned} \Delta H_{lep}^\circ &= \Delta H_{ol}^\circ(CO_2, g) - [\Delta H_{ol}^\circ(C, \text{grafit}) + \Delta H_{ol}^\circ(O_2, g)] \\ &= -393,5 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

bulunur. O_2 ve grafit bu elementlerin kararlı allotrop şekilleri olduğundan, H_{ol}° (C, grafit) ve ΔH_{ol}° (O_2, g) sıfırdır. Dolayısıyla

$$\Delta H_{lep}^\circ = \Delta H_{ol}^\circ(CO_2, g) = -393,5 \text{ kJ/mol}$$

veya

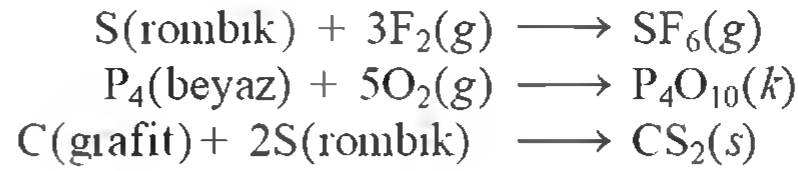
$$\Delta H_{ol}^\circ(CO_2, g) = -393,5 \text{ kJ/mol}$$



Beyaz fosfor havada yandığında P_4O_{10} oluşur.

Elementler standart koşulda en kararlı halde bulunurlar ve ΔH_{ol}° değerlerini sıfır aldığımızda hesaplamalarımız bundan herhangi bir şekilde etkilenmez. Termokimyada, entalpi *değişimleri*yle ilgilendiğimizi, bunları deneysel olarak bulabildiğimizi, mutlak entalpi değerlerini belirleyemeyeceğimizi hatırlayalım. Sıfırı “referans seviye” seçmemiz hesaplamaları kolay halletmemizi sağlar. Örneğin, benzetme yaparsak, Everest Dağı, McKinley Dağı’ndan 8708 ft yüksektir dediğimizde, referans seviye olarak deniz seviyesini 0 ft veya 1000 ft seçmemiz önemli değildir.

Doğrudan yöntemle incelenebilecek diğer bazı bileşikler SF_6 , P_4O_{10} ve CS_2 ’dir. Bu bileşiklerin standart hallerinden oluşum tepkimeleri aşağıdaki gibidir.



S (rombik) ve P (beyaz), kükürt ve fosforun 1 atm basınç ve $25^\circ C$ koşullarında en kararlı allotroplardır, dolayısıyla ΔH_{ol}° değerleri sıfırdır.

Dolaylı Yöntem

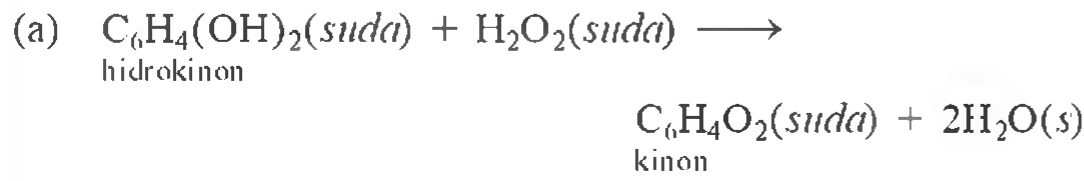
Birçok bileşiği doğrudan elementlerinden elde edemeyiz. Bazen tepkimeler çok yavaştır veya elde etmek istediğimiz bileşikten başka bileşikler veren yan tepkimeler de olabilir. Böyle durumlarda ΔH_{ol}° , dolaylı yöntemle bulunur. Dolaylı yöntem Hess’in ısıların toplanabilirliği ilkesine dayanır ve adını İsviçreli kimyacı Germain Hess¹’den alır. **Hess yasası** şöyle tanımlanabilir. *Tepkenlerin ürünlere dönüşümündeki entalpi değişimi, tepkimenin bir basamakta veya birden fazla basamakta cereyan etmesine bağlı olmaksızın aynı değerdedir.* Diğer bir deyişle, herhangi bir tepkimenin ΔH_{lep}° değerini bulmak için bu tepkime, toplamı yine kendisini verecek şekilde, bir seri tepkimeye bölünür. Toplam tepkime için ΔH_{lep}° değeri, bölünen bu ara basamaklardan bulunur. Hess yasası, H ’nin bir hal fonksiyonu olması esasına dayanır. ΔH değeri

¹Germain Henri Hess (1802-1850). İsviçre – Rus kimyacı. Hess İsviçre’de doğdu, fakat hayatının büyük bir kısmını Rusya’da geçirdi. Hess Yasa’sını formüllemesinden dolayı termokimyanın babası olarak adlandırılır.

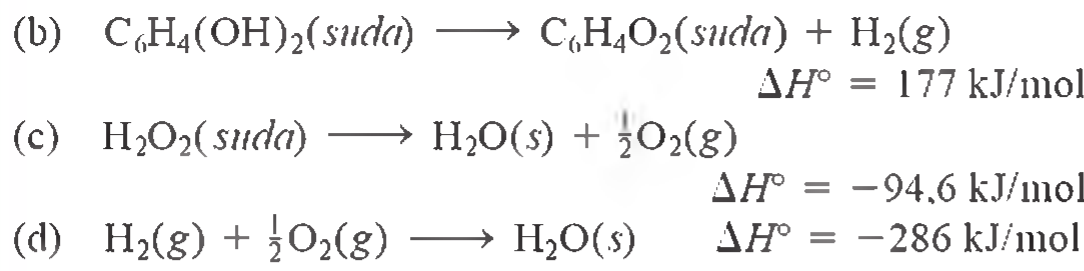
Bombardıman Böceği Nasıl Kendisini Savunur

Acımasız ve rekabetçi çevrede, küçük hayvanlar ve haşereler hayatta kalabilmek için birçok teknikler geliştirmişlerdir. Örneğin, bukalemunlar çevrelerine uyum için renk değiştirme yeteneği geliştirmişlerdir. Akdeniz hammeli kelebeği, zehirli ve hoş olmayan tattaki kral kelebek *Danaus*'e dönüşmüştür. Bombardıman böcekleri (*Branchinus*) tarafından daha pasif bir savunma mekanizması geliştirilmiş olup düşmanlarını "kimyasal sprej" ile uzaklaştırmaktadırlar.

Bombardıman böceğinin karının alt ucunda bir çift beze vardır. Her bir beze iki bölümlüdür. İç bölme, hidrokinon ve hidrojen peroksitin sulu çözeltilerini içerir. Dış bölme enzim karışımlarını tutar. Enzimler tepkimeleri hızlandıran biyolojik moleküllerdir. Bombardıman böceği korkutulduğunda, iç bölmeden bir miktar sıvıyı dış bölmeye sıkar, bu enzimlerin varlığında ekzotermik tepkimeler şöyle gerçekleşir:



Tepkime ısısını bulmak için, aşağıdaki basamakları düşünelim:



Hess yasasını uygulayarak (a) tepkimesinin ısısını, (b), (c) ve (d) tepkime ısılarının toplamından buluruz.



Bombardıman böceği kimyasal sprej boşaltıyor.

Böylece,

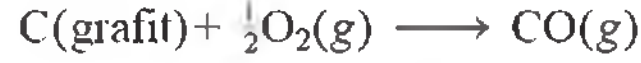
$$\begin{aligned} \Delta H_a^\circ &= \Delta H_b^\circ + \Delta H_c^\circ + \Delta H_d^\circ \\ &= (177 - 94,6 - 286) \text{ kJ/mol} \\ &= -204 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Ortaya çıkan bu büyük miktardaki ısı, karışımı kaynama noktasına getirmek için yeterlidir. Böcek, karının ucunu döndürerek buharı düşmanın üzerine ince bir buğu şeklinde hızlıca boşaltır. Isıl etkiye ilaveten kinonlar aynı zamanda diğer haşereler için de uzaklaştırıcı rol oynar. Bir bombardıman böceği, birbirini takip eden yirmiden otuza kadar sesli patlama şeklindeki boşalmı için yeterli reaktifi sağlayabilir.

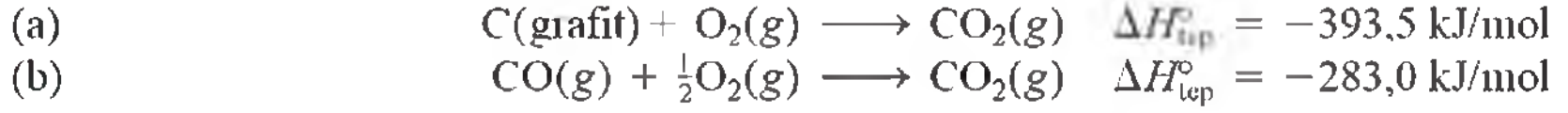
sadece ilk ve son hale bağlıdır (diğer bir deyişle sadece tepkenlerin ve ürünlerin doğasına). Entalpi değişimi tepkimenin bir basamakta veya birden fazla basamakta cereyan etmesine bağlı değildir.

Hess yasası ile ilgili bir benzetmeyi şöyle yapabiliriz. Bir binanın birinci katından altıncı katına asansörle çıkmak istediğimizi farz edelim. İster binanın altıncı katına doğrudan çıkalım, isterse her katında durarak çıkalım (tepkimeyi basamaklara bölmeye karşılık gelir), kazandığımız potansiyel enerji (toplam entalpi değişimine karşılık gelir) her katta durmamıza veya doğrudan altıncı kata çıkmamıza bağlı olmaksızın aynı değerdedir.

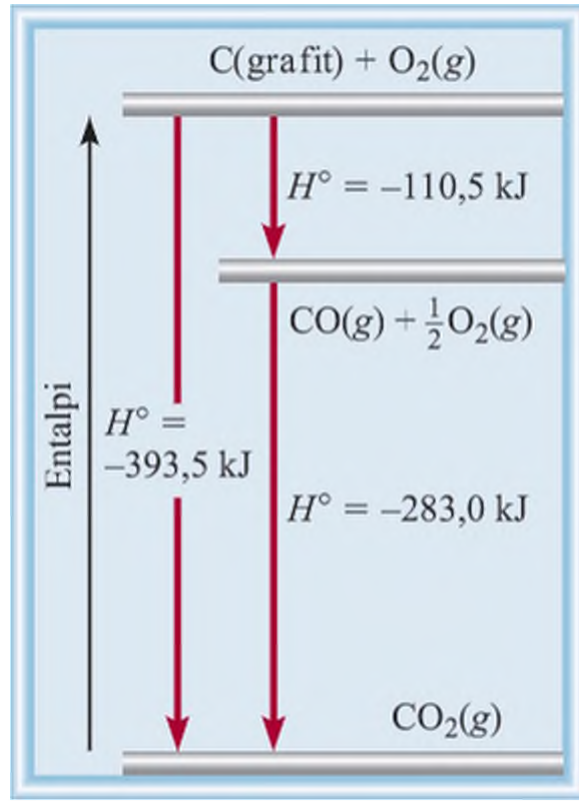
Diyelim ki karbon monoksitin (CO) standart oluşum entalpisini bulmak istiyoruz. Tepkimeyi aşağıda gösterildiği gibi yazabiliriz.



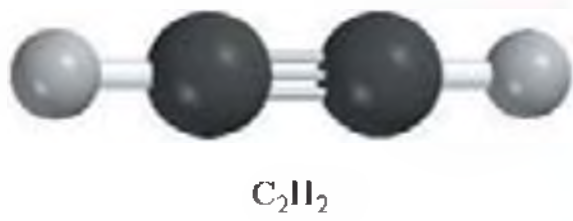
C(grafit) oksijenle yakıldığında CO ile birlikte bir miktar da CO₂ oluşur. Dolayısıyla, CO için entalpi değişimini doğrudan doğruya ölçemeyiz. Öyleyse *Hess yasasına* dayanan dolaylı yöntemi kullanmalıyız. Bunun için aşağıda yazılan ve birer tam yanma tepkimesi olan iki tepkimeyi dikkate almalıyız.



Eşitliği tersine çevirdiğinizde, ΔH 'ın işaretinin de ters çevrileceğini hatırlayınız.



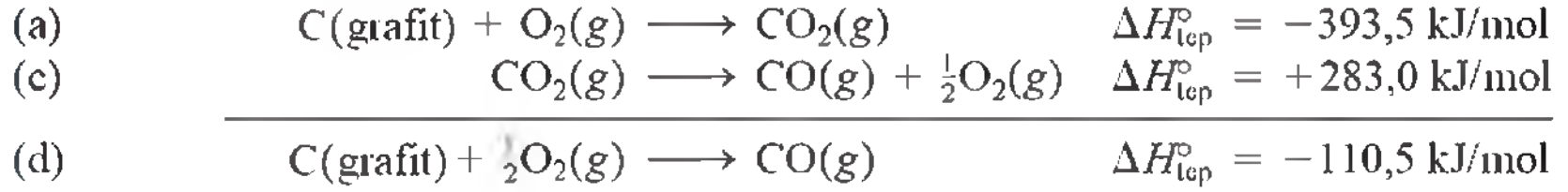
Şekil 6.10 Grafit ve oksijenden 1 mol CO₂'in oluşmasına ait entalpi değişimi, Hess yasasına göre iki basamağa bölünebilir.



Önce eşitlik (b)'yi ters çevirelim. böylece c'yi elde ederiz.



Kimyasal tepkimeler cebir eşitlikleri gibi toplanıp çıkarılabildiğinden (a) ve (c)'yi toplayarak

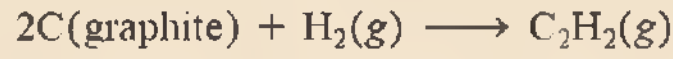


hesaplamak istediğimiz $\Delta H_{\text{tep}}^\circ(\text{CO}) = -110,5$ bulunur. Geriye dönersek, CO₂'in oluşum tepkimesini [Eşitlik (a)], iki eşitliğe böldüğümüzü [Eşitlik (d) ve (b)] götürürüz. Şekil 6.10'da izlenen yolun şeması görülmektedir.

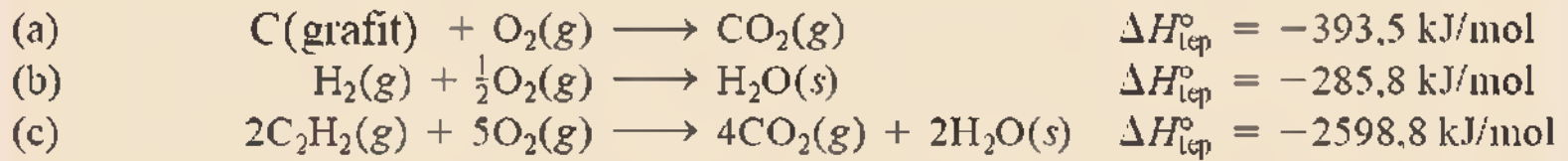
Hess yasasını uygulamak için genel kural: bir seri tepkime toplandığında maddelerin kimyasal formülleri birbirini götürür, toplam tepkimede tepkenler ve ürünler kalır. Diğer bir deyişle, elementleri okun solunda, ilgilendiğimiz bileşiği okun sağında yazarız. Ayrıca tek tek yazdığımız eşitlikleri son eşitliği elde etmek üzere uygun kat-sayılarla çarpabiliriz.

Örnek 6.9

Asetilenin (C₂H₂) elementlerinden elde edilmesindeki standart oluşum entalpisini hesaplayınız.



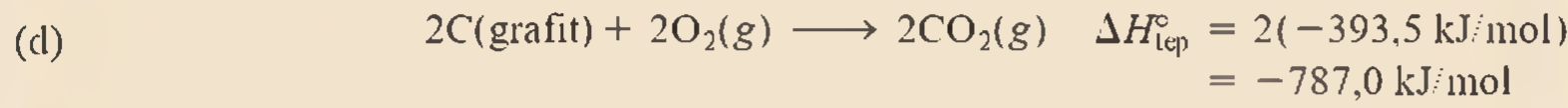
Her bir basamak için eşitlikler ve karşılık gelen entalpi değişimleri aşağıda gösterilmektedir.



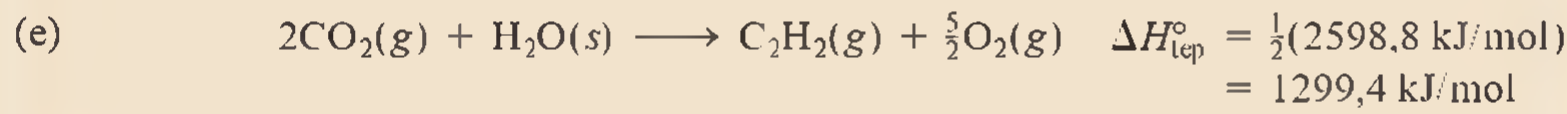
İzlenecek Yol Burada amacımız C₂H₂'nin elementleri olan C ve H₂'den oluşmasındaki entalpi değişimini bulmaktır. Tepkime doğrudan doğruya gerçekleşmez. Dolayısıyla (a), (b) ve (c) eşitliklerini kullanarak dolaylı yöntemle bulmamız gerekir.

(Devamı)

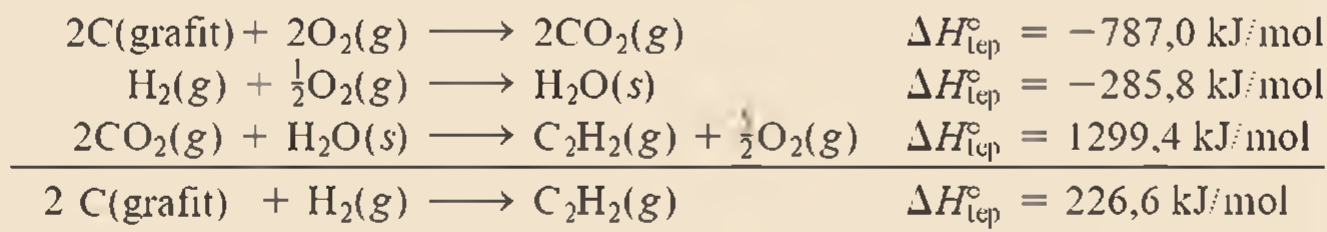
Çözüm Asetilenin oluşma tepkimesini incelersek 2 mol grafit ihtiyacı olduğunu görürüz. Dolayısıyla Eşitlik (a)'yı 2 ile çarpmamız gerekir.



Aynı tepkimeye göre 1 mol H_2 tepkimeye girmelidir. Bunu da Eşitlik (b)'den sağlarız. Son olarak ürün için 1 mol C_2H_2 gereklidir. Eşitlik (c) 2 mol C_2H_2 'yi tepkimeye giren madde olarak içermektedir. Bu tepkimeyi ters çevirip 2'ye böleriz ve tepkime (e)'yi elde ederiz.

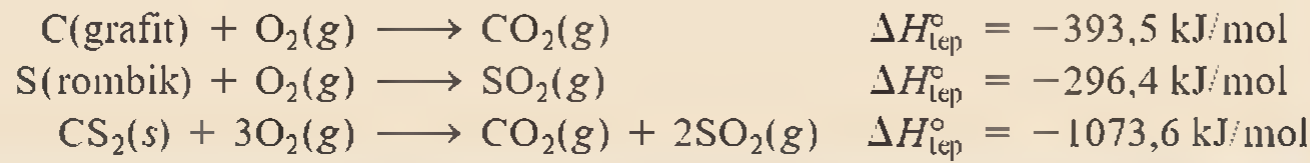


Eşitlik (d), (b) ve (e) toplanırsa,



asetilenin oluşum tepkimesini elde etmiş oluruz. Böylece bu tepkimenin $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ} = \Delta H_{\text{tep}}^{\circ} = 226,6 \text{ kJ/mol}$ değeri bulunur. Burada $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ 'un anlamı 1 mol C_2H_2 'nin 2 mol C(grafit) ve 1 mol H_2 'den oluştuğunda sistemin çevreden 226,6 kJ'lük ısı almasıdır.

Alıştırma Karbon disülfürün (CS_2) elementlerinden oluşması için. standart oluşum entalpisini hesaplayınız. (Aşağıdaki verilerden yararlanınız.)



Tepkimelerin entalpisini Örnek 6.10'da gösterildiği gibi $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerlerinden hesaplayabiliriz.

Örnek 6.10

Termit tepkimesi alüminyum ve demir (III) oksiti içerir:



Bu tepkime ileri derecede ekzotermiktir. Oluşan sıvı demir, metalleri kaynak yapmak için kullanılır. Fe_2O_3 ile tepkimeye giren her bir gram Al için salınan ısıyı kJ olarak bulunuz. $Fe(s)$ için $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değeri 12,40 kJ/mol'dür.

İzlenecek Yol Tepkime entalpisi ürünlerin entalpileri toplamı ile tepkimeye girenlerin entalpileri toplamı arasındaki farktır. Her türün entalpisi; (tepken veya ürün) standart oluşum entalpisi ile stokiometrik katsayısının çarpımı olarak verilir.

Çözüm $Fe(s)$ için verilen $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ ve Ek 3'de verilen diğer $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerlerini ve Eşitlik (6.18)'i kullanarak,

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{tep}}^{\circ} &= [\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}(Al_2O_3) + 2\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}(Fe)] - [2\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}(Al) + \Delta H_{\text{ol}}^{\circ}(Fe_2O_3)] \\ &= [(-1669,8 \text{ kJ/mol}) + 2(12,40 \text{ kJ/mol})] - [2(0) + (-822,2 \text{ kJ/mol})] \\ &= -822,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

(Devamı)



Bir oksiasetilen kaynağı 3000 °C'ye ulaşarak metalleri eritebilir.



Termit tepkimesiyle oluşturulan demir eriyiği, demir yollarındaki iki rayın birleştiği uçlara dökülmektedir. Soğuyan demir, rayları kaynatmaktadır.

yazabiliriz. Bu ısı miktarı, tepkimeye giren 2 mol Al için salınır. Mol başına hesaplama için şu işlem yapılır:

$$\frac{-822,8 \text{ kJ}}{2 \text{ mol Al}}$$

Bunu kJ/g Al birimine çevirmek için, Al'un mol kütleini olan 26,98 g'ı kullanarak aşağıdaki birim dönüşümünü gerçekleştiririz.

$$\begin{aligned} \text{Her bir gram Al için salınan ısı} &= \frac{-822,8 \text{ kJ}}{2 \text{ mol Al}} \times \frac{1 \text{ mol Al}}{26,98 \text{ g Al}} \\ &= -15,25 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

Kontrol Sonucun negatif olması, tepkimenin ekzotermik tabiatlı olması ile uyumlu mudur? Hızlı bir kontrol yaparsak, 2 mol Al'un 54 g olduğunu ve Fe₂O₃ ile tepkimeye girdiğinde yaklaşık 823 kJ ısı vereceğini görürüz. Buna göre, Al'un gramı başına açığa çıkacak olan ısı - 830 kJ/54 yani - 15,4 kJ/g olur.

Benzer problemler: 6.54, 6.57.

Alıştırma Benzen(C₆H₆) havada yandığında karbondioksit ve sıvı su oluşturur. Bu bileşiğin oksijenle tepkimesi sonucu, gram başına açığa çıkaracağı ısıyı (kJ olarak) hesaplayınız. Benzenin standart oluşum entalpisi 49,04 kJ/mol'dür.

Kavramların Değerlendirilmesi

Tepkenleri pozitif $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ içeren tepkimelerin, negatif olanlara kıyasla neden daha ekzotermik olduğunu açıklayınız.

6.7 Çözelti Isısı ve Seyrelme

Şimdiye kadar kimyasal tepkimelerden kaynaklanan ısı enerjisi üzerine yoğunlaştık. Ancak buzun erimesi, buharın yoğunlaşması gibi birçok fiziksel süreç de ısı salını veya alını içermektedir. Bir çözünen bir çözücüde çözüldüğünde veya bir çözelti seyrletildiğinde entalpi değişimleri oluşur. Şimdi, birbiri ile ilişkili bu iki süreci, yani çözelti ısı ve seyrletme ısını inceleyelim.

Çözelti Isısı

Bir çözünen bir çözücüde çözüldüğünde, çoğunlukla ölçülebilir ısı değişimleri meydana gelir. **Çözelti ısı veya çözelti entalpisi** ($\Delta H_{\text{çözel}}^{\circ}$) belirli miktardaki bir çözünenin, belirli miktardaki bir çözücüde çözüldüğünde açığa çıkan veya soğurulan ısı miktarıdır. $\Delta H_{\text{çözel}}^{\circ}$ entalpisinin büyüklüğü, son çözeltinin entalpisi ile ilk bileşiklerin (çözünen ve çözücü) karışmadan önceki entalpileri arasındaki farktır.

$$\Delta H_{\text{çözl}} = H_{\text{çözl}} - H_{\text{bileşenler}} \quad (6.19)$$

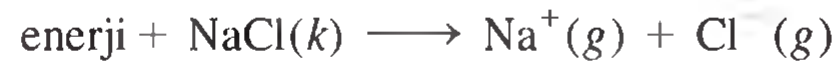
Aslında $H_{\text{çözel}}$ ve $H_{\text{bileşenler}}$ değerlerini tek başına ölçemeyiz. Ancak bunların farkını yani $\Delta H_{\text{çözel}}$ değerini sabit basınç kalorimetresi ile kolayca belirleyebiliriz. Tıpkı diğer entalpi değişimleri gibi $\Delta H_{\text{çözel}}$ endotermik yani ısı alan işlemler için pozitif, ekzotermik yani ısı salan işlemler için negatiftir.

İyonik bir bileşiğin çözünen bir tür olduğu ve suyun çözücü olduğu bir işlemi ele alalım. Örneğin katı NaCl suda çözünürse ne olur? Katı NaCl'de, Na⁺ ve Cl⁻ iyonları kuvvetli pozitif-negatif elektrostatik kuvvetleriyle tutulurlar. Ancak, küçük bir NaCl kristali suda çözüldüğü zaman üç boyutlu iyon ağı tek tek birimlere kırılır (katı

NaCl Şekil 2.13’de gösterildi). Birbirinden ayrılan Na^+ ve Cl^- iyonları çözeltide su molekülleri ile etkileşiminden dolayı kararlı hale gelirler (bak. Şekil 4.2). Bu iyonlara *hidratlaşmış iyonlar* denilir. Bu durumda su iyi bir elektriksel yalıtıcı rolü oynar. Su molekülleri iyonları (Na^+ ve Cl^-) birbirinden perdeler ve bunları katı halde bir arada tutan elektrostatik çekimleri etkin bir şekilde azaltır. Tepkime ısısı aşağıda verilen süreçle tamamlanır.

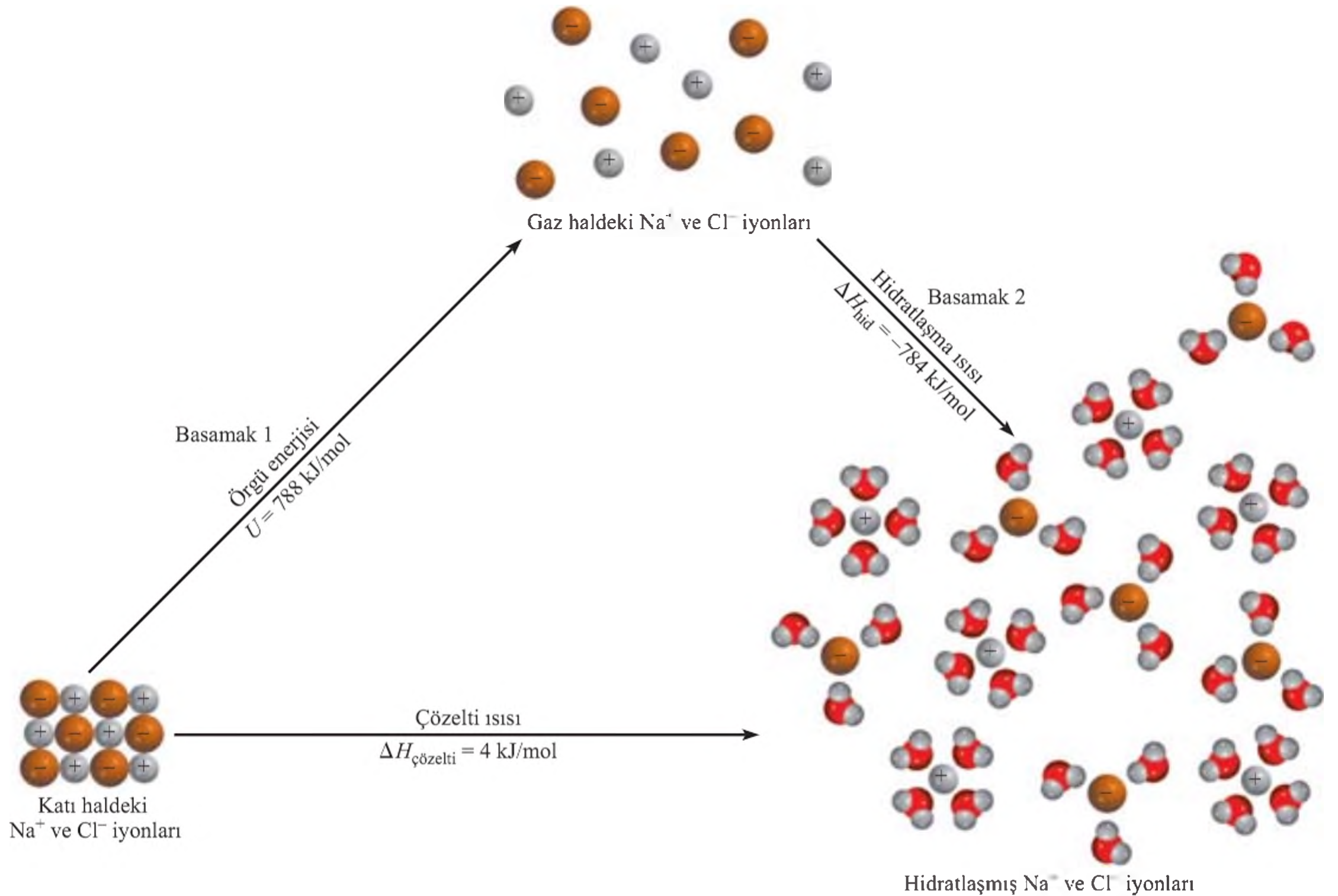


NaCl gibi iyonik bir bileşiği suda çözmek, çözücü ve çözünen arasındaki karmaşık etkileşimleri içerir. Bununla beraber analiz kolaylığı bakımından, çözelti oluşumu sürecinin Şekil 6.11’de gösterildiği gibi iki basamak halinde gerçekleştiğini farz ederiz. Önce katı kristalde Na^+ ve Cl^- iyonları birbirinden ayrılır ve gaz haline çevrilir.



Bir mol katı iyonik bileşiği gaz halindeki iyonları haline dönüştürüp ayırmak için gerekli olan enerjiye **örgü enerjisi** (U) denilir. NaCl’in örgü enerjisi 788 kJ/mol’dür.

Örgü kelimesi, belirli bir düzende izole noktaların (iyonlar tarafından işgal edilen) üç boyutlu yerleşimini ifade eder. Örgü enerjisi pozitif bir değerdir. Örgü enerjisi ve iç enerjinin aynı simge ile gösterildiğine dikkat ediniz.



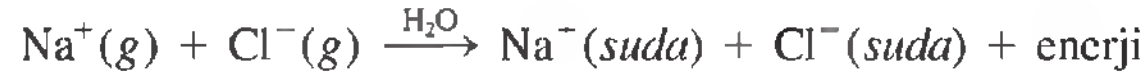
Şekil 6.11 NaCl çözeltisinin oluşum süreci. Bu sürecin iki ayrı basamakta oluştuğu düşünülebilir: (1) kristal halden gaz halinde iyonların ayrılması ve (2) gaz iyonların hidratlaşması. Çözelti ısısı bu iki basamağın enerji değişimine eşittir, $\Delta H_{\text{çözl.}} = U + \Delta H_{\text{hid}}$.

Çizelge 6.5**Bazı İyonik Bileşiklerin Çözelti Isıları**

Bileşik	$\Delta H_{\text{çözelti}}$ (kJ/mol)
LiCl	-37,1
CaCl ₂	-82,8
NaCl	4,0
KCl	17,2
NH ₄ Cl	15,2
NH ₄ NO ₃	26,6

Diğer bir deyişle, 1 mol katı NaCl'ü, 1 mol Na⁺ ve 1 mol Cl⁻ iyonlarına ayırtmak için 788 kJ enerji sağlamamız gerekir.

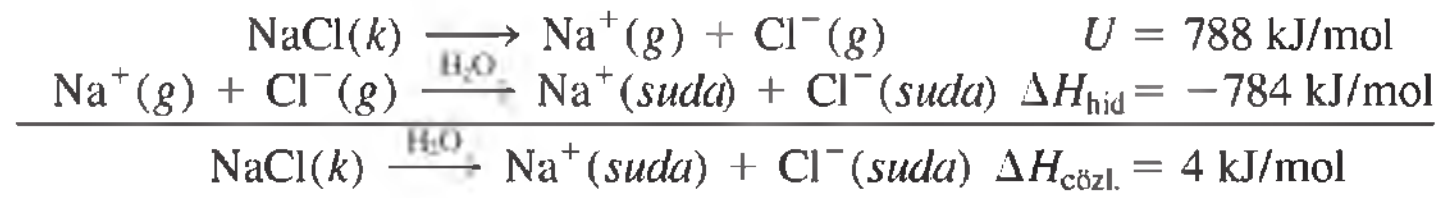
Daha sonra “gaz halinde” Na⁺ ve Cl⁻ iyonları su ile etkileşir ve hidratlaşır.



Hidratlaşma olayı ile ilgili entalpi değişimine *hidratlaşma ısı* ΔH_{hid} denir ve hidratlaşma ısı kanyonlar ve anyonlar için negatif büyüklüktür. Hess yayasını uygulayarak, Şekil 6.11’de gösterildiği gibi, $\Delta H_{\text{çözelti}}$ ’yı iki ilişkili büyüklüğün yani örgü enerjisi (U) ve hidratlaşma enerjisinin (ΔH_{hid}) toplamı olarak düşünmek mümkündür.

$$\Delta H_{\text{çözl.}} = U + \Delta H_{\text{hid}} \quad (6.20)$$

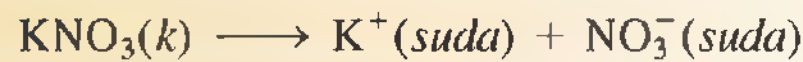
Buna göre,



Böylece 1 mol NaCl suda çözüldüğü zaman çevreden 4 kJ ısı alınır. Bu etkiyi çözeltiyi içeren beherin hafifçe soğumasından gözleyebiliriz. Çizelge 6.5’de birkaç iyonik bileşiğin $\Delta H_{\text{çözelti}}$ değerleri verilmiştir. Kanyon ve anyonun doğasına bağlı olarak $\Delta H_{\text{çözelti}}$ değerleri negatif (ekzotermik) veya pozitif (endotermik) olabilir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Ek 3’deki verileri kullanarak, aşağıdaki çözünme işleminin çözelti ısını hesaplayınız:

**Seyrelme Isısı**

Daha önceden hazırladığımız bir çözelti seyreltildiğinde, yani çözünenin toplam derişimini düşürmek için daha fazla çözücü eklendiğinde, ya ilave ısı açığa çıkar veya ısı alınır. *Seyrelme ısı* *seyreltme olayı ile ilişkili ısı değişimidir*. Eğer bir çözünme süreci endotermik ise ve çözelti daha sonra seyreltilirse, çözelti tarafından çevreden daha fazla ısı alınır. Ekzotermik çözünme süreci için de tersi geçerlidir. Eğer çözeltiyi seyreltmek için daha fazla çözücü eklenirse daha fazla ısı açığa çıkar. Öyleyse laboratuvar da bir seyreltme işlemi yapılırken daima dikkatli olmalıyız. Örneğin, derişik sülfirik asidin (H₂SO₄) oldukça aşırı ekzotermik seyrelme ısısından dolayı, derişimini azaltmak için su ilavesi oldukça tehlikeli bir durum oluşturur. Derişik sülfirik asit yüzde 98 H₂SO₄ yüzde 2 su içerir. Su ile seyreltmede çevreye önemli miktarda ısı verilir. Bu olay öyle ekzotermiktir ki, asla derişik asidi su ile seyreltmeye teşebbüs etmemelisiniz. Açığa çıkan ısı, asit çözeltisinin kaynamasına ve sıçramasına neden olabilir. Bu asitin seyreltilmesi için önerilen yöntem, suyun asite ilavesi yerine derişik asidin yavaşça ve karıştırılarak suya ilave edilmesidir.

Kuşaklar boyunca kimya öğrencilerine, asitleri seyreltmenin güvenli yolunun “asite su değil, suya asit ilave etmek” olduğu bir özdeyiş gibi hatırlanmaktadır.

Anahtar Eşitlikler

$\Delta U = q + w$	(6.1)	Termodinamiğin birinci yasasının matematiksel ifadesi.
$w = -P\Delta V$	(6.3)	Gaz genleşmesi veya gaz sıkıştırılmasında işin hesaplanması.
$H = U + PV$	(6.6)	Entalpinin tanımı
$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$	(6.8)	Sabit-basınç işlemi için entalpinin (veya enerji) hesaplanması.
$C = ms$	(6.11)	Isı kapasitesinin tanımı.
$q = ms\Delta t$	(6.12)	Özgül ısıya dayanarak ısı değerinin hesaplanması.
$q = C\Delta t$	(6.13)	Isı kapasitesine dayanarak ısı değişiminin hesaplanması.
$\Delta H_{\text{tep}}^{\circ} = \sum n\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}(\text{ürünler}) - \sum m\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}(\text{tepkenler})$	(6.18)	Standart tepkime entalpisinin hesaplanması.
$\Delta H_{\text{çözelti}} = U + \Delta H_{\text{hid}}$	(6.20)	Örgü enerjisi ve hidratlaşmanın çözelti ısısına katkısı.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Enerji iş yapabilme kapasitesidir. Birçok enerji türü vardır ve bunlar birbirine dönüşebilirler. Enerjinin korunumu yasası evrenin toplam enerjisinin sabit olduğunu belirtir.
2. Çevreye ısı veren bir süreç ekzotermik, çevreden ısı alan bir süreç ise endotermik olarak adlandırılır.
3. Bir sistemi tanımlamak için, bileşim, hacim, sıcaklık ve basınç gibi değişkenler kullanılır.
4. Sistemin hal fonksiyonundaki değişiklik, sistemin ilk ve son haline bağlı olup, izlenen yola bağlı değildir. Enerji bir hal fonksiyonudur, ancak iş ve ısı hal fonksiyonu değildir.
5. Termodinamiğin birinci yasasına göre, enerji yoktan var edilemez, varken yok edilemez. Ancak enerji bir şekilde başka şekle dönüşebilir. Kimyada genel olarak ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve mekanik enerji ile ilgilenilir ve bunlar genellikle basınç-hacim işi ile ilişkilidirler.
6. Entalpi bir hal fonksiyonudur. Entalpideki değişim (ΔH) sabit-basınçta $\Delta U + P\Delta V$ ye eşittir.
7. Entalpi değişimi (ΔH genellikle kJoule olarak verilir) sabit basınçta tepkime (veya başka bir süreç) ısısının ölçüsüdür.
8. Fiziksel ve kimyasal işlemlerde ısı değişimlerini ölçmek için sabit-hacim ve sabit-basınç kalorimetreleri kullanılır.
9. Hess yasasına göre bir tepkimenin entalpi değişimi, bu toplam tepkimeyi oluşturan basamakların entalpi değişimleri toplamına eşittir. Bir tepkimenin standart entalpi değişimi, tepkimeye giren ve çıkan maddelerin oluşum entalpilerinden bulunabilir.
10. Standart tepkime entalpisi, tepkenlerin ve ürünlerin standart oluşum entalpilerinden hesaplanabilir.
11. İyonik bir bileşiğin sudaki çözünme ısısı, bileşiğin örgü enerjisi ile hidratlaşma ısısının toplamıdır. Bu iki büyüklüğün birbirine göre büyüklüğü çözünme işleminin endotermik veya ekzotermik olmasına bağlıdır. Seyrelme ısısı, bir çözelti seyreltildiğinde salınan veya alınan ısıdır.

Anahtar Kelimeler

Açık sistem, s. 232	Hal fonksiyonu, s. 234	Örgü enerjisi (U), s.261	Standart tepkime entalpisi ($\Delta H_{\text{tep}}^{\circ}$), s. 255
Çevre, s. 232	Hess Yasası, s. 256	Özgül ısı (s), s. 247	Tepkime entalpisi, s. 242
Çözelti entalpisi ($\Delta H_{\text{çöz}}$), s. 260	Hidratlaşma ısısı, s. 262	Potansiyel enerji, s. 231	Termodinamiğin birinci yasası, s. 234
Çözelti ısısı ($\Delta H_{\text{çöz}}$), s. 260	Isı enerjisi, s. 231	Seyrelme ısısı, s. 262	Termodinamik, s. 234
Ekzotermik olay, s. 233	Isı kapasitesi (C), s. 247	Sistem, s. 232	Termokimya, s. 232
Endotermik olay, s. 233	Isı, s. 232	Sistemin hali, s. 234	Termokimyasal eşitlik, s. 243
Enerji, s. 231	Isıma enerjisi, s. 231	Sistemin hali, s. 234	Yalıtılmış sistem, s. 232
Enerjinin korunumu yasası, s. 231	İş, s. 231	Standart hal, s. 254	
Entalpi, s. 241	Kalorimetri, s. 246	Standart oluşum entalpisi ($\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$), s. 254	
	Kapalı sistem, s. 232		
	Kimyasal Enerji, s. 231		

Sorular ve Problemler

Tanımlar

Tarama Soruları

- 6.1 Verilen şu terimleri tanımlayınız: sistem, çevre, açık sistem, kapalı sistem, yalıtılmış sistem, ısı enerjisi, kimyasal enerji, potansiyel enerji, kinetik enerji, enerjinin korunumu yasası.
- 6.2 Isı nedir? Isının, ısı enerjiden farkı nedir? Hangi koşullarda, ısı bir sistemden diğerine aktarılır?
- 6.3 Kimyada yaygın olarak kullanılan enerji birimi nedir?
- 6.4 Saatte 60 km hızla giden bir kamyon, trafik ışığında duruyor. Bu değişim, enerjinin korunumu yasasını aykırı mıdır?
- 6.5 Enerjinin, kimyasal, ısı, ışık, mekanik, elektrik enerjisi gibi değişik şekilleri vardır. Bu enerjilerin birbirine dönüşümü ile ilgili değişik yollar öneriniz.
- 6.6 Verilen şu işlemlerdeki enerji dönüşümlerini tanımlayınız. (a) Yumuşak bir topu havaya atıyorsunuz ve tutuyorsunuz. (b) Arabanızdaki sinyal lambasını açıyorsunuz. (c) Kayak asansörü ile tepenin zirvesine çıkıyorsunuz, sonra aşağı kayıyorsunuz. (d) Bir kibrit çakıyorsunuz ve yakıyorsunuz.

Kimyasal Tepkimelerde Enerji Değişimleri

Tarama Soruları

- 6.7 Termokimya, ekzotermik olay, endotermik olay terimlerini tanımlayınız.
- 6.8 Stokiyometri, kütlenin korunumu yasasına dayanır. Termokimya hangi yasaya dayanır?
- 6.9 İki ekzotermik, iki de endotermik olay söyleyiniz.
- 6.10 Bozunma tepkimeleri genellikle endotermik iken birleşme tepkimeleri ekzotermiktir. Bu eğilimlere nitel açıklama getiriniz.

Termodinamiğin Birinci Yasası

Tarama Soruları

- 6.11 Termodinamiğin birinci yasası hangi ilkeye dayanır. $\Delta U = q + w$ eşitliğindeki simgelerin anlamını açıklayınız.
- 6.12 Hal fonksiyonunu tanımlayınız. İki, hal fonksiyonu olan iki de hal fonksiyonu olmayan büyüklüğe örnek veriniz.
- 6.13 İdeal bir gazın iç enerjisi yalnızca sıcaklığa bağlıdır. Bir gaz örneği, sabit sıcaklıkta atmosfer basıncına karşı genleştiriliyor. (a) Gaz çevreye iş yapar mı? (b)

Sistemle çevre arasında ısı değişimi var mıdır? Varsa yönü nedir? (c) Bu işlem de gazın ΔU değeri nedir?

- 6.14 Aşağıda verilen tepkimeleri dikkate alarak,

- (a) $\text{Hg}(s) \longrightarrow \text{Hg}(g)$
- (b) $3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}_3(g)$
- (c) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(k) \longrightarrow \text{CuSO}_4(k) + 5\text{H}_2\text{O}(g)$
- (d) $\text{H}_2(g) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{HF}(g)$

sabit basınçta, hangi tepkimelerde sistem çevreye iş yapar? Hangilerinde çevreden sisteme iş yapılır veya yapılan her hangi bir iş yoktur?

Problemler

- 6.15 Bir azot gazı örneği sabit sıcaklıkta 1,6 L'den 5,4 L hacme genleştiriliyor. Aşağıdaki koşullarda genleştirmede yapılan işi joule olarak hesaplayınız. (a) Boşluğa (vakum) karşı genleştiriyor. (b) 0,80 atm'lık sabit basınca karşı genleştiriliyor. (c) 3,7 atm'lık sabit basınca karşı genleştiriliyor.
- 6.16 Bir gaz örneği sabit sıcaklıkta 26,7 mL'den 89,3 mL hacme genleştiriliyor. Yapılan işi (joule olarak) (a) boşluğa (vakum) (b) 1,5 atm'lık sabit basınca (c) 2,8 atm'lık sabit dış basınca karşı genleşmesi durumunda bulunuz.
- 6.17 Bir gaz çevreye 325 J P - V işi yapıyor, aynı zamanda çevreden 127 J ısı alıyor. Gazın enerjisindeki değişimi hesaplayınız.
- 6.18 Bir gazı sıkıştırmak için 74 J değerinde iş yapılıyor. Bunun sonucunda da çevreye 26 J enerji salınıyor. Gazın enerjisindeki değişimi bulunuz.
- 6.19 1 atm ve 25°C'de 50,0 g bir kalay örneği fazla miktarda asit içerisinde çözündüğünde

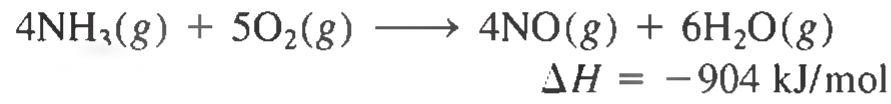
$$\text{Sn}(k) + 2\text{H}^+(suda) \longrightarrow \text{Sn}^{2+}(suda) + \text{H}_2(g)$$
 yapılan işi, açığa çıkan gazın ideal olduğu varsayımıyla bulunuz.
- 6.20 1 mol su, 1,0 atm ve 100°C'de buharlaştırıldığında yapılan işi joule olarak bulunuz. 100°C'deki buharın hacmi yanında sıvı suyun hacminin ihmal edilebilir büyüklükte olduğunu ve gazın ideal davranış gösterdiğini kabul ediniz.

Kimyasal Tepkimelerde Entalpi

Tarama Soruları

- 6.21 Entalpi ve tepkime entalpisi terimlerini tanımlayınız. Hangi koşullarda tepkime ısısı, aynı tepkimenin entalpi değişimine eşittir.
- 6.22 Termokimyasal eşitlikleri yazarken her maddenin fiziksel halini (gaz, sıvı, katı) belirtmek neden önemlidir?

- 6.23 Aşağıda verilen termokimyasal eşitliğin anlamını açıklayınız.

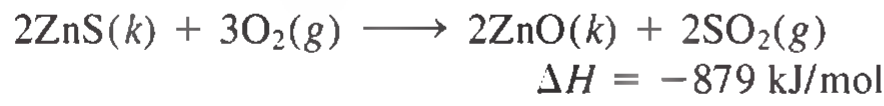


- 6.24 $2\text{CH}_3\text{OH}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$
 $\Delta H = -1452,8 \text{ kJ/mol}$

Yukarıdaki tepkimeyi dikkate alarak (a) eşitlik 2 ile çarpılırsa (b) tepkimenin yönü tersine çevrilirse (yani ürünler tepkenlere veya tersi) (c) tepkimede sıvı yerine su buharı oluşursa, ΔH 'ın değerleri ne olur?

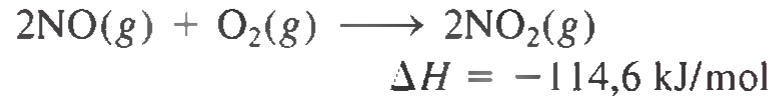
Problemler

- 6.25 Endüstride, çinko sülfür cevherinden, çinkonun elde edilmesi kavurma yöntemiyle yapılır. Bu şekilde ısıtılarak ZnS bileşiği, ZnO'ye dönüştürülür.

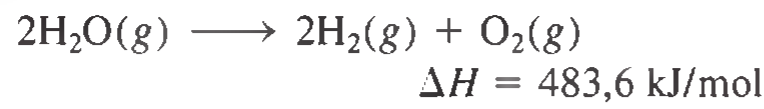


Kavrulan ZnS'ün gramı başına açığa çıkan ısıyı kJ olarak bulunuz.

- 6.26 Aşağıda verilen tepkimeye göre $1,26 \times 10^4 \text{ g}$ NO_2 oluştuğunda açığa çıkan ısı miktarını kJ olarak bulunuz.

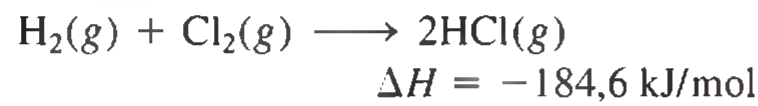


- 6.27 2 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, aşağıda verilen tepkimeye göre 1 atm ve 125°C 'de,



$\text{H}_2(\text{g})$ ve $\text{O}_2(\text{g})$ vermektedir. Bu tepkime için ΔU değerini bulunuz.

- 6.28 3 mol H_2 , 3 mol Cl_2 ile HCl oluşturmak üzere aşağıda verilen eşitliğe göre tepkimeye girmektedir.



25°C 'de 1 atm basınca karşı yapılan işi (joule olarak) bulunuz. Tepkimenin tamamlanmaya kadar devam ettiği kabulü ile ΔU değerini hesaplayınız.

Kalorimetri

Tarama Soruları

- 6.29 Özgül ısı ile ısı kapasitesi arasındaki fark nedir? Bu büyüklüklerin birimleri nedir? Hangisi şiddet özelliğinde, hangisi kapasite özelliğindedir?
- 6.30 Kalorimetriyi tanımlayınız ve yaygın olarak kullanılan iki kalorimetreyi anlatınız. Kalorimetrik ölçümlerde kalorimetrenin kapasitesini bilmek neden önemlidir? Bu değer nasıl belirlenir?

Problemler

- 6.31 Aşağıdaki verileri dikkate alarak

Metal	Al	Cu
Kütle (g)	10	30
Özgül ısı ($\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C}$)	0,900	0,385
Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	40	60

bu iki metal birbiri ile temas ettirildiğinde aşağıdakilerden hangisi gerçekleşir?

- (a) Al'nun özgül ısısı daha büyük olduğu için ısı Al'den Cu'a doğru akar.
- (b) Cu'm kütle büyük olduğu için ısı Cu'dan Al'a akar.
- (c) Cu'm ısı kapasitesi büyük olduğu için ısı Cu'dan Al'a akar.
- (d) Cu, daha yüksek sıcaklıkta olduğu için ısı Cu'dan Al'a akar.
- (e) Her iki yönde de ısı akışı olmaz.

- 6.32 362 g bir gümüş örneğinin ısı kapasitesi $85,7 \text{ J/}^\circ\text{C}$ 'dir. Gümüşün özgül ısısı nedir?

- 6.33 6,22 kg bir bakır metal parçası, $20,5^\circ\text{C}$ 'dan $324,3^\circ\text{C}$ 'a ısıtılıyor. Metal tarafından alınan ısıyı (kJ olarak) bulunuz.

- 6.34 366 g cıva $77,0^\circ\text{C}$ 'dan $12,0^\circ\text{C}$ 'a soğutulduğu zaman açığa çıkan ısıyı (kJ olarak) bulunuz.

- 6.35 $18,0^\circ\text{C}$ 'da, 10,0g bir altın levha, $55,6^\circ\text{C}$ 'de 20,0 g bir demir levha üzerine konuluyor. Birleşmiş metallerin son sıcaklığı ne olur? Çevreye ısı kaybı olmadığını kabul ediniz. (İpucu: Altın tarafından alınan ısı, demir tarafından kaybedilen ısıya eşittir. Metallerin özgül ısılarını Çizelge 6.2'den bulabilirsiniz.).

- 6.36 Isı kapasitesi ihmal edilebilir büyüklükte olan bir sabit-basınç kalorimetresinde $23,4^\circ\text{C}$ 'de bir su örneğine, $81,7^\circ\text{C}$ 'de 12,1 gramlık bir alüminyum parçası ekleniyor. Suyun son sıcaklığı $24,9^\circ\text{C}$ olduğuna göre kalorimetredeki suyun kütlesini bulunuz. (İpucu: Çizelge 6.2'ye bakınız.)

- 6.37 0,1375 g katı magnezyum, sabit hacimli kalorimetre bombasında yakılıyor. Kalorimetre bombasının ısı kapasitesi $3024 \text{ J/}^\circ\text{C}$ 'dir. Bu yanma sonucu sıcaklık $1,126^\circ\text{C}$ artış gösterdiğine göre, Mg'un yanma ısısını kJ/g ve kJ/mol cinsinden bulunuz.

- 6.38 Isı kapasitesi $325 \text{ J/}^\circ\text{C}$ olan bir sabit basınç kalorimetresinde, 0,900 M 85,0 mL HCl ile 0,900 M 85,0 mL KOH karıştırılıyor. Eğer her iki çözeltinin başlangıç sıcaklıkları $18,24^\circ\text{C}$ ise karışımın son sıcaklığı ne olur? Nötralleşme ısısı $-56,2 \text{ kJ/mol}$ 'dur. Çözeltilerin yoğunluk ve özgül ısılarının su ile aynı olduğunu kabul ediniz.

Standart Oluşum Entalpisi ve Tepkime

Tarama Soruları

- 6.39 Standart – hal koşulu ile neyi kastediyoruz?
- 6.40 Bir elementin ve bir bileşiğin standart entalpisi nasıl bulunur?
- 6.41 Standart tepkime entalpisi ne demektir?
- 6.42 Tepkime entalpisini bulmak için bir eşitlik yazınız ve bütün terimleri tanımlayınız.
- 6.43 Hess yasasını tanımlayınız. Hess yasasının termokimyadaki yararını bir örnekle açıklayınız.
- 6.44 Kimyacıların; yanma ısılarını ölçerek ve Hess yasasını kullanarak bir bileşiğin $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerini nasıl bulabileceğini gösteriniz.

Problemler

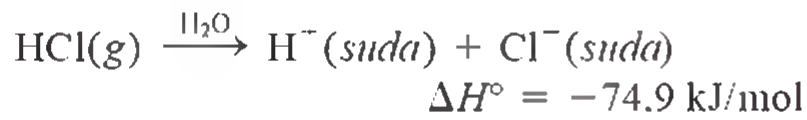
- 6.45 25°C’de aşağıda verilen standart oluşum entalpi değerlerinden hangisi sıfır değildir? Na(k), Ne(g), CH₄(g), S₈(k), Hg(s), H(g).
- 6.46** Oksijenin iki allotropu O₂ ve O₃’ün 25°C’deki $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerleri sırasıyla 0 ve 142,2 kJ/mol’dür. Bu sıcaklıkta oksijenin hangi şekli daha karardır?
- 6.47 25°C’da H₂O(s) ve H₂O(g) maddelerinden hangisinin $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değeri daha negatiftir?
- 6.48** Aşağıda verilen hallerdeki $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerlerini sıfırdan büyük, küçük veya eşit olarak değerlendiriniz. (a) Br₂(g) ve Br₂(s) (b) I₂(g) ve I₂(k).
- 6.49 Genel olarak negatif $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerine sahip bileşikler, pozitif $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerine sahip olanlara kıyasla daha karardır. H₂O₂(s)’nin $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değeri negatiftir (Çizelge 6.4’e bakınız). Böyle olduğu halde neden H₂O₂(s), H₂O(s) ve O₂(g)’e bozunma eğilimindedir?
- 6.50** Ag₂O(k) ve CaCl₂(k) maddelerinin elementlerinden oluşmasındaki $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerini ölçmek için yollar öneriniz (uygun eşitlikler kullanarak). Hesaplama yapmanız gerekli değildir.
- 6.51 25°C’de, sabit basınçta aşağıda tepkimesi verilen işlem için bozunma ısını bulunuz.



(Tepkimeye giren ve çıkan maddelerin standart oluşum entalpileri için Çizelge 6.4’e bakınız)

- 6.52** Sulu çözeltilerdeki iyonların standart oluşum entalpileri, keyfi olarak sıfır kabul edilen H⁺ iyonuna göre verilir,

(a) Aşağıdaki tepkimedeki



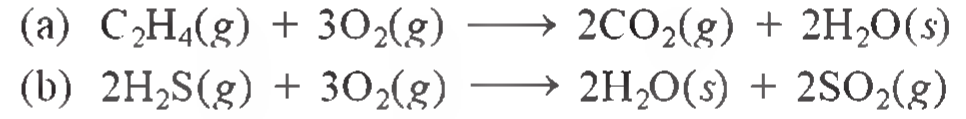
Cl⁻ iyonlarının $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerini hesaplayınız.

- (b) OH⁻ iyonlarının $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değeri -229.6 kJ/mol olarak bilindiğine göre, 25°C’de 1 mol tek protonlu asitin (örneğin HCl) 1 mol kuvvetli

baz (KOH gibi) ile titrasyonunda nötralleşme ısını bulunuz.

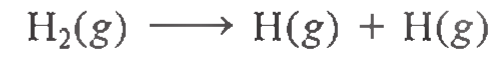
- 6.53 Ek 3’de verilen standart oluşum entalpi değerlerinden yararlanarak, aşağıda verilen tepkimelere ait yanma ısılarını hesaplayınız.
- (a) $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(s)$
- (b) $2\text{C}_2\text{H}_2(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(s)$

- 6.54** Ek 3’de verilen standart oluşum entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki tepkimelerin yanma ısılarını bulunuz.



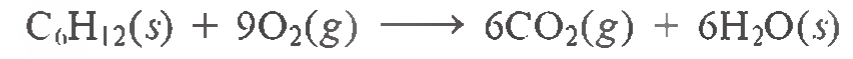
- 6.55 Metanol, etanol ve *n*-propanol, üç yaygın alkoldür. Bu üç alkolün 1,00 g’ı havada yakıldığı zaman aşağıda verilen ısı miktarları açığa çıkmaktadır. (a) metanol (CH₃OH) için -22,6 kJ (b) etanol (C₂H₅OH) için, -29,7 kJ (c) *n*-propanol (C₃H₇OH) için -33,4 kJ. Bu alkollerin yanma ısılarını kJ/mol olarak bulunuz.

- 6.56** Aşağıda verilen tepkimeye ait standart entalpi değişimi 436,4 kJ/mol’dür.



Hidrojen atomunun (H) standart oluşum entalpisini hesaplayınız.

- 6.57 Standart oluşum entalpisi değerlerinden yararlanarak,



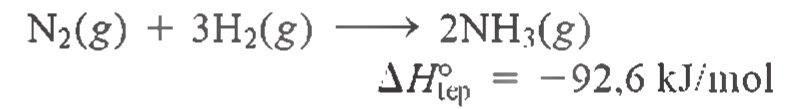
tepkimesinin $\Delta H_{\text{tep}}^{\circ}$ değerini hesaplayınız. C₆H₁₂(s) için $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ} = -151,9 \text{ kJ/mol}$ ’dür.

- 6.58** Pentaboran-9, B₅H₉, renksiz son derece tepkimeye yatkın bir sıvıdır ve oksijene maruz kaldığında patlama ile alevlenir. Tepkime aşağıda verildiği gibidir:



Bileşik oksijenle tepkimeye girdiğinde her bir gram bileşik için açığa çıkan ısıyı kilojoule olarak hesaplayınız. B₅H₉’ün standart oluşum entalpisi 73,2 kJ/mol’dür.

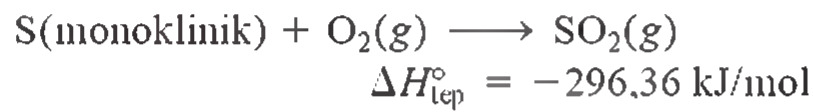
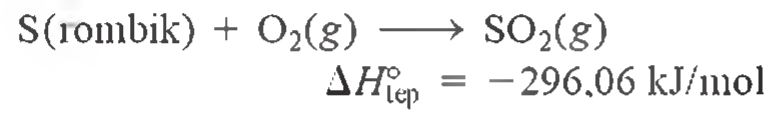
- 6.59 $1,26 \times 10^4 \text{ g}$ amonyak aşağıda verilen tepkimeye göre oluştuğu zaman açığa çıkan ısıyı (kJ olarak) bulunuz.



Tepkimenin standart koşullarda 25°C’da gerçekleştiğini kabul ediniz.

- 6.60** CaCO₃, 850°C’da, CaO ve CO₂ vermek üzere bozunur. 850°C’deki $\Delta H_{\text{ol}}^{\circ}$ değerlerinin, 25°C’deki ile aynı değerde oluşumun kabul ederek, tepkimede 66,8 g CO₂ oluştuğunda entalpi değişimini (kJ olarak) hesaplayınız.

- 6.61 Aşağıda verilen iki tepkimenin verilerinden yararlanarak

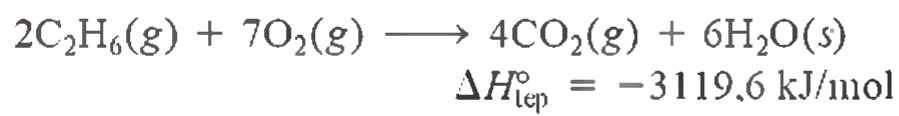
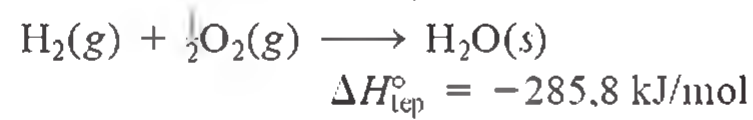
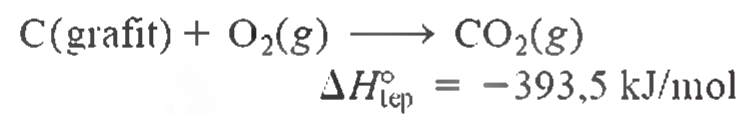


aşağıdaki tepkimesinin entalpi değişimini bulunuz.

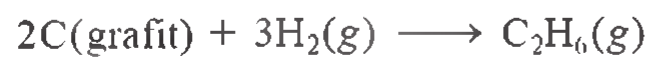


(Monoklinik ve rombik, kükürdün farklı allotroplarıdır.)

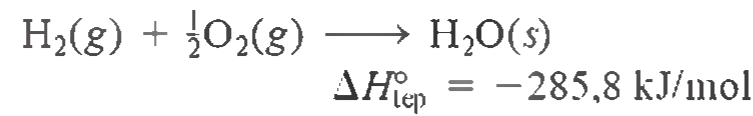
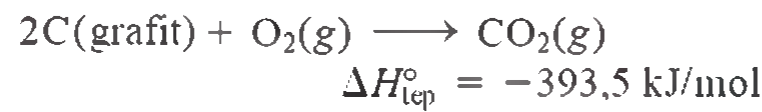
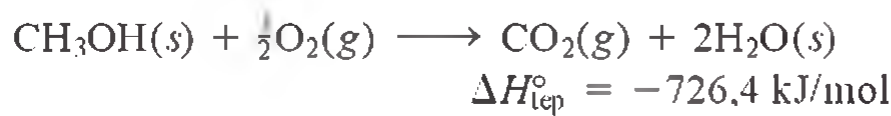
- 6.62 Aşağıdaki verilerden



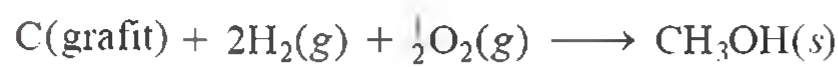
Şu tepkimesinin entalpi değişimini hesaplayınız.



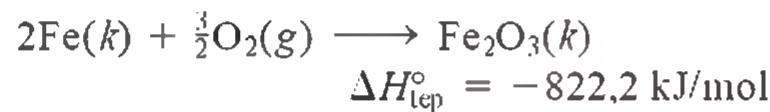
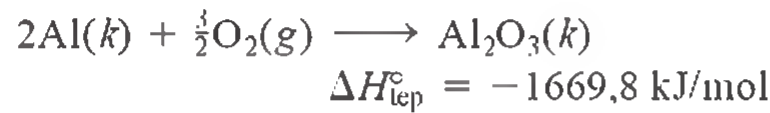
- 6.63 Aşağıdaki yanma ısılarından



aşağıda verilen metanolün (CH_3OH) elementlerinden oluşmasındaki entalpi değişimini hesaplayınız.



- 6.64 $2\text{Al}(k) + \text{Fe}_2\text{O}_3(k) \longrightarrow 2\text{Fe}(k) + \text{Al}_2\text{O}_3(k)$ tepkimesinin entalpi değişimini aşağıdaki verilerden yararlanarak bulunuz.



Heat of Çözüm and Dilution

Tarama Soruları

- 6.65 Verilen şu terimleri tanımlayınız: çözelti entalpisi, hidratlaşma ısısı, örgü enerjisi, seyrelme ısısı.
- 6.66 Bir katının örgü enerjisi neden daima pozitif değerlidir? Neden bir iyonun hidratlaşması daima negatif bir niceliktir?
- 6.67 İki iyonik bileşik olan A ve B'yi dikkate alalım. A bileşiği B'den daha büyük örgü enerjisine sahiptir. Bu iki bileşikten hangisi daha karardır?

- 6.68 Mg^{2+} katyonu Na^+ dan daha küçüktür ve daha büyük pozitif yük taşır. Bu iki türden hangisinin hidratlaşma enerjisi daha büyüktür(kJ/mol olarak)? Açıklayınız.

- 6.69 Potasyum florür gibi iyonik bir bileşiğin suda çözünmesini dikkate alalım. Süreci birbirini izleyen basamaklara bölelim: buhar fazda katyonlar ve anyonların ayrılması ve sulu ortamda iyonların hidratlaşması. Her bir basamağa eşlik eden enerji değişimini tartışınız. KF'nin çözelti ısısı bu iki niceliğin büyüklüğüne nasıl bağlıdır? Bu ilişki hangi yasaya dayanır?

- 6.70 Bir seyreltme işleminde sülfürik asit gibi bir derişik asidi suya eklemek neden tehlikelidir?

Ek Problemler

- 6.71 Aşağıdakilerden hangileri için 25°C 'de $\Delta H_{\text{ol}}^\circ = 0$ değerlidir?

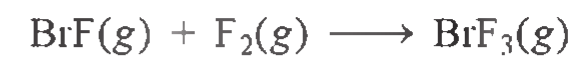


- 6.72 3,70 mol etanol. 1 atm'de ve kaynama noktasında ($78,3^\circ\text{C}$) buhar haline dönüştüğünde, yapılan genleşme işini hesaplayınız.

- 6.73 25°C 'da standart halde elementlerin en kararlı hallerinin entalpi değerlerini keyfi olarak sıfır kabul etmek, tepkimelerin entalpi değerlerini belirlemenin uygun bir yoludur. Bu uygulamayı çekirdek tepkimelerine yapamayız. Nedenini açıklayınız.

- 6.74 $\text{Br}_2(s) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{BrF}(g)$
 $\Delta H^\circ = -188 \text{ kJ/mol}$
 $\text{Br}_2(s) + 3\text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{BrF}_3(g)$
 $\Delta H^\circ = -768 \text{ kJ/mol}$

Verilen bu termokimyasal eşitliklerden,



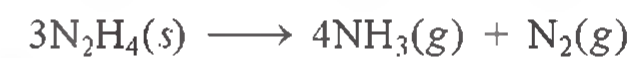
tepkimesinin $\Delta H_{\text{tep}}^\circ$ değerini hesaplayınız.

- 6.75 Gümtiş nitratın aşağıdaki eşitliğe göre ısı bozunmasındaki standart entalpi değişimi, $\Delta H^\circ = +78,67 \text{ kJ}$ 'dir.



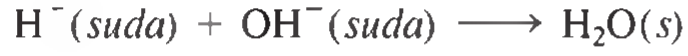
$\text{AgNO}_3(k)$ için standart oluşum entalpisi $-123,02 \text{ kJ/mol}$ 'dir. $\text{AgNO}_2(k)$ 'in standart oluşum entalpisini bulunuz.

- 6.76 Hidrazin, N_2H_4 , aşağıdaki tepkimeye göre bozunur:



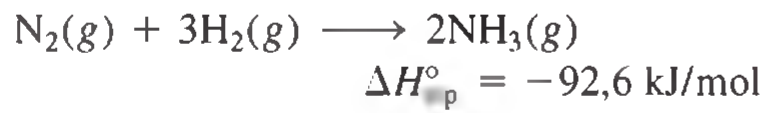
(a) Hidrazinin standart oluşum entalpisi $50,42 \text{ kJ/mol}$ olarak verildiğine göre, bozunmasındaki ΔH° değerini bulunuz. (b) Hem hidrazin ve hem de amonyak, oksijenle $\text{H}_2\text{O}(s)$ ve $\text{N}_2(g)$ vermek üzere yanar. Bu tepkimeler için denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız ve her birisi için ΔH° değerini hesaplayınız. Buna göre amonyak ve hidrazin kütle bazında (her kg için) iyi birer yakıt mıdır?

- 6.77 Isı kapasitesi ihmal edilebilir büyüklükte olan bir sabit basınç kalorimetresinde: $0.862\text{ M } 2.00 \times 10^2\text{ mL}$ HCl ile $0.431\text{ M } 2.00 \times 10^2\text{ mL}$ Ba(OH)₂ karıştırılıyor. HCl ve Ba(OH)₂ çözeltilerinin ilk sıcaklıkları aynı olup 20.48°C 'dir.



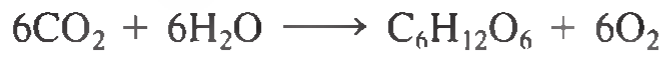
tepkimesi için nötralleşme ısı -56.2 kJ/mol olduğuna göre, karışımın son sıcaklığı nedir?

- 6.78 3.53 g amonyum nitrat (NH_4NO_3) örneği, ısı kapasitesi ihmal edilebilir büyüklükte suya ekleniyor. Suyun sıcaklığı 21.6°C 'den 18.1°C 'e düşüyor. Amonyum nitratın çözelti ısını ($\Delta H_{\text{çözelti}}$) hesaplayınız.
- 6.79 2.0 mol N_2 , 6.0 mol H_2 ile aşağıda verilen eşitliğe göre tepkimeye girerek NH_3 vermektedir.



25°C 'da 1 atm basınca karşı yapılan işi (joule) hesaplayınız. Bu tepkime için ΔU değerini bulunuz. Tepkimenin tamamlandığını kabul ediniz.

- 6.80 25°C ve 1 atm basınçta yoğunluğu 1.88 g/L olan $2.00\text{ L Cl}_2(\text{g})$, fazla miktardaki sodyum metali ile sodyum klorür vermek üzere tepkimeye girmektedir. Açığa çıkan ısı miktarını hesaplayınız.
- 6.81 Fotosentezde, karbon dioksit ve sudan aşağıdaki tepkimeye göre glukoz ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ve oksijen oluşur:

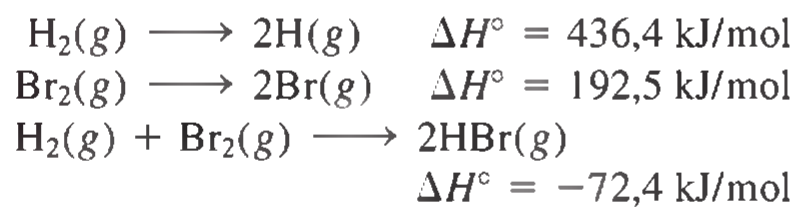


(a) Bu tepkime için $\Delta H_{\text{tep}}^\circ$ değerini deneysel olarak nasıl belirlersiniz? (b) Güneş ışınması dünya üzerinde yılda $7.0 \times 10^{14}\text{ kg}$ glukoz oluşturur. Bu miktara karşı gelen ΔH° değişimi nedir?

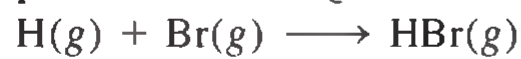
- 6.82 17.0°C 'de 2.10 mol kristal asetik asit örneği, 17°C 'de erimeye bırakılıyor ve daha sonra 118.1°C 'a kadar (normal kaynama noktası) ısıtılıyor ve bu sıcaklıkta buharlaştırılıyor. Daha sonra ani olarak 17.0°C 'a soğutuluyor ve böylece tekrar kristalleşiyor. Toplam işlem için ΔH° değerini hesaplayınız.

- 6.83 $2\text{Na}(\text{k}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \longrightarrow 2\text{NaOH}(\text{suda}) + \text{H}_2(\text{g})$
- tepkimesine göre 0°C ve 1.0 atm koşullarında 0.34 g Na, su ile hidrojen gazı vermek üzere tepkimeye girdiğinde yapılan iş miktarını joule olarak hesaplayınız.

- 6.84 Aşağıdaki verilerden yararlanarak



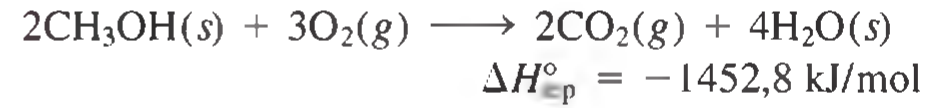
aşağıdaki tepkimenin ΔH° değerini hesaplayınız.



- 6.85 Bir gaz karışımı, 28.4 mol yüzdesinde hidrojen, 71.6 mol yüzdesinde metan içeriyor. 2.23 atm ve 19.4°C 'de ölçülen 15.6 L gaz örneği havada yakılıyor. Açığa çıkan ısıyı hesaplayınız.

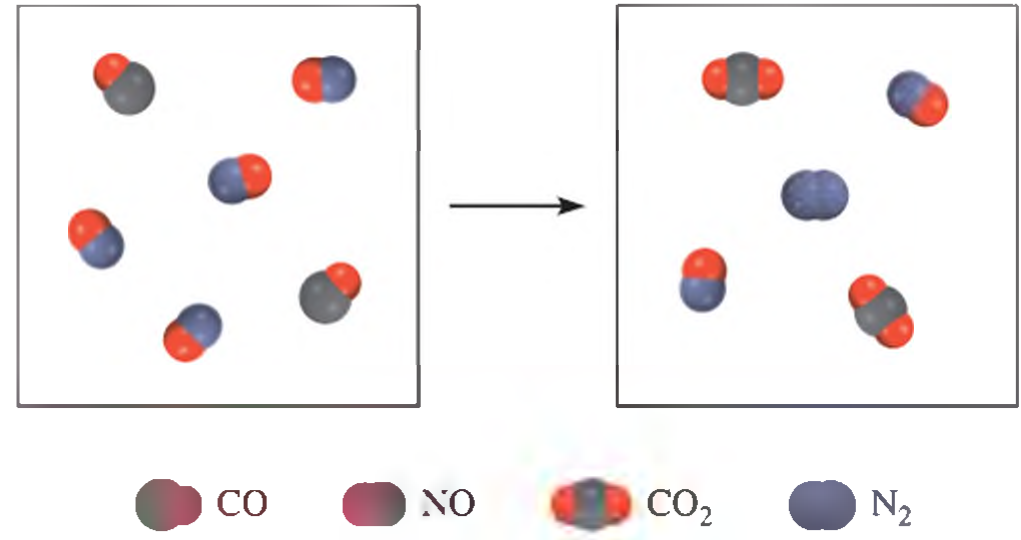
- 6.86 298 K ve 1 atm 'de 2.740 g Ba, O_2 ile tepkimeye girdiği zaman BaO oluşuyor ve 11.14 kJ ısı açığa çıkıyor. BaO için $\Delta H_{\text{ol}}^\circ$ değerini bulunuz?

- 6.87 Metanol (CH_3OH) bir organik çözücüdür ve ayrıca bazı otomobillerde yakıt olarak kullanılır. Aşağıdaki verilerden yararlanarak metanolün standart oluşum entalpisini bulunuz.

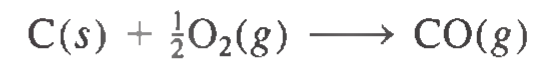


- 6.88 99.0°C 'de, 44.0 g bir metal örneği, 24°C 'de 80.0 g su içeren bir sabit-basınç kalorimetresine konuluyor. Sistemin son sıcaklığı 28.4°C olarak bulunuyor. Metalin özgül ısını bulunuz. (kalorimetrenin ısı kapasitesi $12.4\text{ J/}^\circ\text{C}$ 'dir.)

- 6.89 Ek 3'deki verileri kullanarak, aşağıda gösterilen gaz tepkimesinin entalpi değişimini bulunuz. (İpucu: Önce sınırlayıcı bileşeni belirleyiniz.)



- 6.90 Üretim gazı (karbon monoksit) kızgın kok kömürü üzerinden hava geçirilmek suretiyle elde edilir:



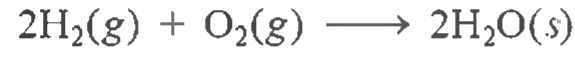
Su gazı (karbon monoksit ve hidrojen karışımı) ise kızgın kok kömürü üzerinden su buharı geçirilerek oluşturulur:



Yıllarca, hem üretim gazı hem su gazı endüstride yakıt olarak ve evleri ısıtmada kullanılmıştır. Bu gazların büyük ölçekte eldesi alternatif olarak gerçekleştirilmiş, yani önce üretim gazı sonra su gazı üretilmiş ve bu böylece devam etmiştir. Termokimyasal sebepler düşünerek neden bu yöntemin seçildiğini düşününüz.

- 6.91 1 mol metan (CH_4) ve 1 mol su gazının (0.5 mol H_2 ve 0.5 mol CO) aynı koşullarda yakılmasıyla açığa çıkan ısıyı karşılaştırınız. Yanıtınızı esas alarak metan, su gazına tercih eder misiniz? Metanın, su gazına tercih edilmesiyle ilgili iki farklı neden önerebilir misiniz?

- 6.92** Hidrojen ekonomisi, güneş enerjisi kullanarak sudan hidrojen eldesine dayanır. Bu gaz daha sonra yakıt olarak kullanılır.



Hidrojenin yakıt olarak kullanımındaki en önemli avantaj, yandığında çevreyi kirletmeyen ürün oluşturmaktır. Buna karşın sıvı ve katılara göre depolanması daha zordur. 25°C ve 1 atm basınçta, bir galon oktanın (C_8H_{18}) yanmasıyla elde edilen enerjiye eşdeğer bir enerji elde edebilmek için, 25°C ve 1 atm basınçta gerekli hidrojen gazı hacmini hesaplayınız. Oktanin yoğunluğu 2,66 kg/gal ve standart oluşum entalpisi $-249,9 \text{ kJ/mol}$ 'dür.

- 6.93** Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ve benzin (hepsinin oktan, C_8H_{18} , olduğu varsayımı ile) her ikisi de otomobillerde yakıt olarak kullanılır. Eğer benzin 4,50\$ /gal olacak şekilde satılıyorsa, aynı miktar ısı vermesi için etanolün fiyatı (\$/gal) ne olmalıdır? Oktanin ΔH_f° değeri ve yoğunluğu sırasıyla $-249,9 \text{ kJ/mol}$ ve $0,7025 \text{ g/mL}$ ve etanolün ise sırasıyla $-277,0 \text{ kJ/mol}$ ve $0,7894 \text{ g/mL}$ 'dir. 1 gal = 3,785 L.

- 6.94** 855 g suyu 25,0°C'den 98,0°C'ye ısıtmak için, 23,0°C ve 752 mm Hg basınçtaki etandan (C_2H_6), hangi hacimde alınarak yakılmalıdır?

- 6.95** Enerjinin korunumu söz konusu olduğuna göre, neden enerji krizi yaşıyoruz? Açıklayınız.

- 6.96** Bir sıvının buharlaşma ısısı (ΔH_{buh}), bu sıvının 1,00 g'lık miktarını kaynama noktasında buharlaştırmak için gerekli enerji miktarıdır. Bir deneyde 60,0 g sıvı azot (k.n. -196°C), $55,3^\circ\text{C}$ 'de $2,00 \times 10^2 \text{ g}$ su içeren köpükten yapılmış polistiren kupa içine dökülüyor. Suyun son sıcaklığı $41,0^\circ\text{C}$ olduğuna göre sıvı azotun molar buharlaşma ısısını hesaplayınız.

- 6.97** Etanolün cilde sürüldüğünde hissedilen serinletici etkisini, aşağıdaki verileri dikkate alarak açıklayınız.



- 6.98** Aşağıda verilen tepkimelerin hangilerinde $\Delta H_{\text{tep}}^\circ = \Delta H_f^\circ$ eşitliği geçerlidir.

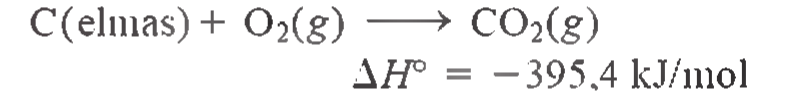
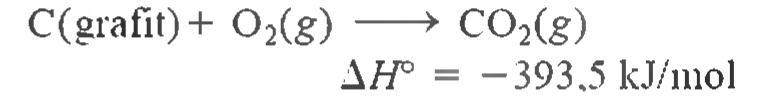
- (a) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{rombik}) \longrightarrow \text{H}_2\text{S}(\text{g})$
 (b) $\text{C}(\text{elmas}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g})$
 (c) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CuO}(\text{k}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{s}) + \text{Cu}(\text{k})$
 (d) $\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{O}_3(\text{g})$

- 6.99** 0°C ve 1 atm'de 1,0 mol suyun donması sırasında yapılan işi (joule) hesaplayınız. 0°C 'da 1 mol su ve buzun molar hacimleri sırasıyla 0,0180 L ve 0,0196 L'dir.

- 6.100** 20°C 'de 0,050 L hacmindeki 0,020 mol gaz, hacmi 0,50 L oluncaya kadar sabit sıcaklıkta genişliyor. Aşağıda verilen koşullarda gazın genişmesi durumunda yapılan işi (joule) bulunuz (a) Vakuma karşı

(b) 0,20 atm sabit basınca karşı (c) b şıkkındaki gaz kontrolsüz bir şekilde basınç, dış basınca eşit oluncaya kadar genişliyorsa, genişleme sonlanmadan önceki hacim ne olur ve yapılan iş miktarı nedir?

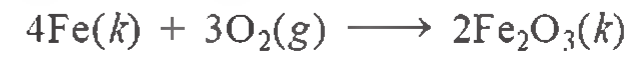
- 6.101** Elmasın standart oluşum entalpisini, aşağıdaki verileri kullanarak hesaplayınız.



- 6.102** (a) Buzdolabının verimli çalışması için raflarının yiyeceklerle doldurulması gereklidir. Bu tavsiyenin termokimyasal temeli nedir? (b) Aynı sıcaklıkta iken termosu konulan çay veya kahvenin, şehriyeli tavuk çorbasından daha uzun süre sıcak kalmasının nede-nini açıklayınız.

- 6.103** Fermentasyon olayı için standart entalpi değişimini hesaplayınız. (Problem 3.72'ye bakınız.)

- 6.104** Sıcak torbalar, soğuk iklimlerde dışarıda çalışan kişiler ve kayakçılar tarafından çok kullanılır. Hava geçirgen olan bu kâğıt torbalar çok az nemlendirilmiş demir tozu, sodyum klorür ve diğer bileşenleri içerir. Demirin paslanması tepkimesi, yaygın, bilinen ekzotermik bir tepkimedir:



Torbanın dışındaki plastik kılıf yırtıldığında O_2 molekülleri kâğıttan geçer ve yukarıdaki tepkimeyi başlatır. 250 g demir içeren tepkimeden açığa çıkan ısı, 4 saate kadar ellerinizi veya ayaklarınızı sıcak tutar. Yukarıdaki tepkime ile açığa çıkan ısı miktarı(kJ olarak) nedir? (İpucu: Ek 3'den ΔH_f° değerlerine bakınız.)

- 6.105** Bir kişinin 227 g peynir yemesine rağmen (enerji değeri 4000 kJ) vücudunda hiç enerji depolanmadığını kabul ediniz. Bu kişinin başlangıç sıcaklığını koruyabilmesi için ne kadar (gram) suyu terleme ile atması gerekir? (1 mol suyu buharlaştırmak için 44,0 kJ gereklidir.)

- 6.106** Pasifik Okyanusu'nun toplam hacmi $7,2 \times 10^8 \text{ km}^3$ olarak belirlenmiştir. Orta büyüklükteki bir atom bombası patlama ile $1,0 \times 10^5 \text{ J}$ enerji oluşturmaktadır. Pasifik Okyanusu'nun sıcaklığını 1°C yükseltmek için gerekli enerjiyi sağlayabilecek atom bombası sayısını hesaplayınız.

- 6.107** 19,2 g kuru buz (katı karbon dioksit), Şekil 6.5'dekine benzer bir cihazda süblimleştiriliyor (buharlaşıyor). 22°C sabit sıcaklıkta, 0,995 atm'lik dış basınca karşı yapılan işi hesaplayınız. Kuru buzun başlangıç hacminin ihmal edilebilir büyüklükte olduğunu ve CO_2 gazının ideal davranış gösterdiğini kabul ediniz.

- 6.108** Benzoik asitin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) yanma entalpisi sabit-hacim kalorimetrelerini ayarlama (kalibre etmede) standart olarak kullanılır. Benzoik asitin

yanma entalpisi $-3226,7 \text{ kJ/mol}$ 'dür. $1,9862 \text{ g}$ benzoik asit kalorimetrede yakıldığında suyun sıcaklığı $21,84^\circ\text{C}$ 'dan $25,67^\circ\text{C}$ 'a yükselmektedir. Kalorimetrede bombasının ısı kapasitesi nedir? (Kalorimetre bombası çevreleyen suyun tam olarak 2000 g olduğunu kabul ediniz.)

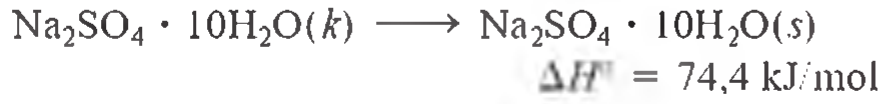
- 6.109 $25,0 \text{ g H}_2$ ve CH_4 gazı karışımının yanması 2354 kJ ısı açığa çıkarır. Gazların gram olarak miktarlarını hesaplayınız.

- 6.110 Kalsiyum oksit (CaO) kömür yakan güç santrallerinde oluşan kükürt dioksiti ortadan kaldırmak için kullanılır:



Günde $6,6 \times 10^5 \text{ g SO}_2$ 'in ortadan kaldırıldığı bir süreç için entalpi değişimini bulunuz.

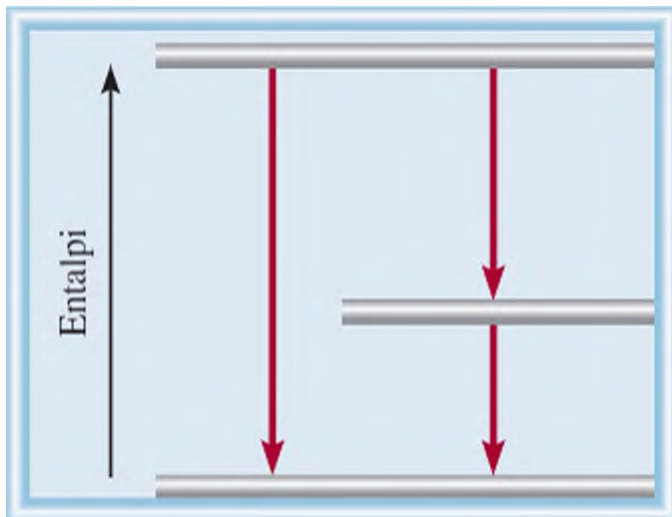
- 6.111 Glabuer tuzu olarak bilinen sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) uygun sıcaklık olan yaklaşık 32°C 'de faz dönüşümüne uğrar (yani erime veya donma):



Bu özelliğinden dolayı, bu bileşik odanın tavanına plastik torbalar içine konur ve evlerdeki sıcaklığı ayarlamak için kullanılır. Gündüz endotermik erime olayı ile çevreden ısı alır ve oda serinler, gece ise donarken dışarıya ısı salar. 1 atm basınçta odanın sıcaklığını $8,2^\circ\text{C}$ düşürmek için gerekli olan Glabuer tuzunu kilogram olarak bulunuz. Odanın boyutları $2,80 \text{ m} \times 10,6 \text{ m} \times 17,2 \text{ m}$ 'dir, havanın özgül ısı $1,2 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ve havanın mol kütlesi $29,0 \text{ g/mol}$ alınabilir.

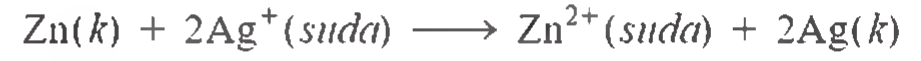
- 6.112 16 m çapındaki bir balon 18°C 'da helyum gazı ile dolduruluyor. (a) He 'un ideal gaz davranışı gösterdiğini kabul ederek balondaki helyum kütlesini hesaplayınız. (b) Doldurma işlemi sırasında atmosfer basıncı $98,7 \text{ kPa}$ ise yapılan işi (joule) bulunuz.

- 6.113 Asetilen (C_2H_2), önce etilene (C_2H_4) sonra da etana (C_2H_6) hidrojenlenebilir yani hidrojen ile tepkimeye girer. Buna göre $1 \text{ mol C}_2\text{H}_2$ ile başlayarak, aşağıda gösterilen şemayı Şekil 6.10'a benzer şekilde doldurunuz. Ek 3'deki verileri kullanınız.



- 6.114 $\text{Fe}^{3+}(\text{suda}) + 3\text{OH}^-(\text{suda}) \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3(k)$ tepkimesinin ΔH° değerini hesaplayınız.

- 6.115 Şekil 6.9'da verilen sabit-basınç kalorimetresine benzer bir kalorimetredeki $50,0 \text{ mL } 0,100 \text{ M AgNO}_3$ çözeltisine fazla miktarda çinko metali ekleniyor.



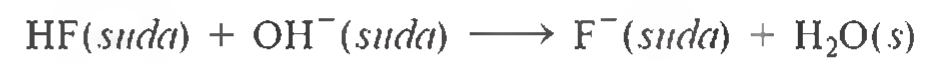
Yukarıdaki tepkimeye göre, sıcaklık $19,25^\circ\text{C}$ 'den $22,17^\circ\text{C}$ 'e yükseliyor. Kalorimetrenin ısı kapasitesi $98,6 \text{ J/}^\circ\text{C}$ ise, yukarıdaki tepkimenin entalpi değişimini mol temelinde hesaplayınız. Çözeltinin yoğunluk ve özgül ısısının su ile aynı olduğunu kabul ediniz ve metallerin özgül ısılarını dikkate almayınız (ihmal ediniz).

- 6.116 (a) Bir kişi her gün $3,0^\circ\text{C}$ 'de dört bardak soğuk su içiyor. Her bardağın hacmi, $2,5 \times 10^2 \text{ mL}$ 'dir. Alınan bu suyun sıcaklığını 37°C 'a (vücut sıcaklığı) yükseltmek için ne kadar ısı (kJ) sağlamalıdır? (b) Susuzluğunuzu gidermek için 0°C 'de $8,0 \times 10^2 \text{ g}$ kar yerseniz vücudunuz ne kadar ısı kaybeder? (karı eritmek için gerekli ısı miktarı $6,01 \text{ kJ/mol}$ 'dur.)

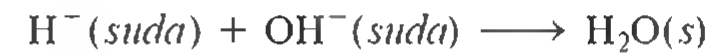
- 6.117 Bir sürücü el kitabı, hız iki katına çıktığında, durma mesafesinin dört katına çıktığını ifade eder. Yani saatte 25 mil hızla hareket eden bir arabanın durması 30 ft mesafe alırsa, saatte 50 mil ile hareket edenin durması 120 ft alır. Bu ifadeyi mekanik ve termodinamiğin birinci yasasını kullanarak ispat ediniz. [Araba durduğunda kinetik enerjisinin $(1/2 mv^2)$ tamamının ısıya dönüştüğünü kabul ediniz.]

- 6.118 25°C 'de standart oluşum entalpileri $\text{HF}(\text{suda})$ için $-320,1 \text{ kJ/mol}$; $\text{OH}^-(\text{suda})$ için $-229,6 \text{ kJ/mol}$; $\text{F}^-(\text{suda})$ için $-329,1 \text{ kJ/mol}$ ve $\text{H}_2\text{O}(s)$ için $-285,8 \text{ kJ/mol}$ olarak veriliyor.

- (a) $\text{HF}(\text{suda})$ 'nın standart nötralleşme entalpisini hesaplayınız:



- (b) Aşağıdaki tepkimenin standart entalpi değişimini ($-56,2 \text{ kJ}$) kullanarak,

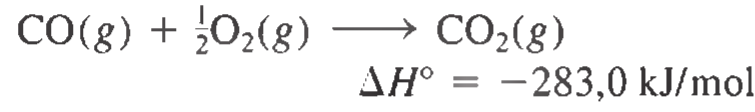


şu tepkimesinin standart entalpi değişimin hesaplayınız.

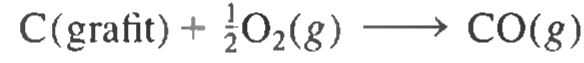


- 6.119 Neden soğuk nemli hava ve sıcak nemli hava aynı sıcaklıktaki kuru havadan daha rahatsız edicidir? (Su buharının ve havanın özgül ısıları sırasıyla yaklaşık $1,9 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ve $1,0 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ 'dir).

- 6.120** CO₂'nin oluşum entalpisi ve aşağıdaki bilgilerden, karbon monoksitin (CO) standart oluşum entalpisini hesaplayınız:



Neden bu niceliği doğrudan aşağıdaki tepkimenin entalpisinin ölçerek bulamayız?



- 6.121** 46 kg olan bir insan "kalori" değeri yaklaşık 3,0 kJ/g olan 500 g süt içiyor. Eğer sütteki enerjinin yüzde 17'si mekanik işe dönüştüyorsa, bu enerji kazanımı ile şahıs ne kadar yüksekliğe (metre olarak) tırmanabilir? [*İpucu:* Tırmanışta yapılan iş mgh ile verilir. Burada m : kütle (kilogram), g : yerçekimi ivmesi (9.8 m/s^2) ve h : yüksekliktir (metre).]
- 6.122** Amerika tarafındaki Niagara Şelalesi'nin yüksekliği 50 m'dir. (a) Şelalenin tepesindeki 1 g suyun yer seviyesine göre potansiyel enerjisini hesaplayınız. (b) Bütün potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüştürse düşen suyun hızı ne olur? (c) Bütün kinetik enerji ısı enerjisine dönüştürse suyun sıcaklığındaki artış ne olur? (Öneriler için Problem 6.121'e bakınız.)
- 6.123** On dokuzuncu yüzyılda Dulong ve Petit isimli iki bilim insanı bir katı element için mol kütlesi ile özgül ısısının çarpımının yaklaşık 25 J/°C olduğunu fark etmişlerdir. Bu gözlem, halen Dulong ve Petit yasası olarak bilinir ve metallerin özgül ısılarını belirlemek için kullanılır. Çizelge 6.2'deki metaller için yasanın doğruluğunu sağlayınız. Yasa metallerden birisi için geçerli değildir. Hangisi için? Neden?
- 6.124** Etanolün standart yanma entalpısından (−1367,4 kJ/mol) yararlanarak, etanolün (C₂H₅OH) standart oluşum entalpisini bulunuz.
- 6.125** Asetilen (C₂H₂) ve benzen (C₆H₆) aynı basit formüle sahiptir. Benzen, asetilenden aşağıda verilen tepkimeye gibi elde edilebilir:



C₂H₂ ve C₆H₆ için yanma entalpileri sırasıyla −1299,4 kJ/mol ve −3267,4 kJ/mol'dür. C₂H₂ ve C₆H₆ için standart oluşum entalpilerini ve böylece C₂H₂'den C₆H₆ oluşumu için entalpi değişimini hesaplayınız.

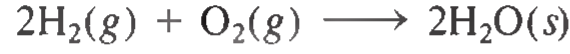
- 6.126** 0°C'deki buz, 23°C'deki 361 g meşrubat içeren bir polistiren kupa içine konuluyor. Meşrubatın özgül ısısı, su ile hemen hemen aynı değerdedir. Meşrubat ve buz 0°C'de dengeye geldiğinde bir miktar buz erimeden kalmaktadır. Eriyen buzun kütlesini bulunuz. Kupanın ısı kapasitesini ihmal ediniz. (*İpucu:* 0°C'da 1 g buz eritmek için 334 J enerji gereklidir.)

- 6.127** Bir akşam yemeği partisinden sonra, ev sahibi şu hokkabazlığı uyguladı. Önce yanan mumlardan birini söndürdü. Daha sonra çabucak, yanan bir kibriti fitilin 1 m (2.54 cm) yukarısına getirdi. Herkesin şaşırmasına karşın mum tekrar yandı. Ev sahibinin fi-tile dokunmadan nasıl bu işi başardığını açıklayınız.

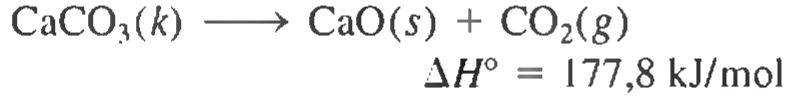


- 6.128** 89,7 g NH₄Cl'nin bozunması için ne kadar ısı gereklidir? (*İpucu:* 25 °C'deki oluşum entalpisi değerlerini kullanabilirsiniz.)
- 6.129** Massachusetts'de bir gaz şirketi 20°C ve 1,0 atm basınçtaki 15 ft³ doğal gaz için, 1,30 dolar almaktadır. 200 mL suyu (1 fincan kahve yapmak için yeterli) 20°C'dan 100°C'a ısıtmanın maliyetini dolar olarak bulunuz. Yanmadan elde edilen ısıнын yüzde ellisinin suyu ısıtmada kullanıldığını, geriye kalanının çevreye kaybolduğunu kabul ediniz.
- 6.130** 'Goodyear balonu' $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ basınçta helyum gazı ile dolduruluyor. Balonun iç enerjisini hesaplayınız. Balonun hacmi $5,5 \times 10^3 \text{ m}^3$ 'dür. Eğer bütün enerji 21°C'daki 10,0 ton bakırı ısıtmak için harcanırsa, metalin son sıcaklığı ne olur? (*İpucu:* Gazın iç enerjisini hesaplamak için Kesim 5.7'den yararlanınız. 1 ton = $9.072 \times 10^5 \text{ g}$.)
- 6.131** Bozunma tepkimeleri genellikle endotermik, birleşme tepkimeleri genellikle ekzotermiktir. Bu eğilimler için nitel bir açıklama veriniz.
- 6.132** Asetilen (C₂H₂), kalsiyum karbürün su ile etkileşmesinden elde edilir. (a) Tepkimenin eşitliğini yazınız. (b) 74,6 g CaC₂'den başlayarak elde edilecek olan asetilenin yanmasından oluşan ısı miktarını (kilojoule) hesaplayınız.
- 6.133** Çöllerde ortalama sıcaklık gündüz yüksek, geceleri düşüktür. Bununla beraber kıyı şeridinde (deniz) fazla değişmez, nedenini açıklayınız.
- 6.134** 298 K'de, bir sabit hacim kalorimetresinde 1,034 g naftalin (C₁₀H₈) yakıldığında 41,56 J ısı açığa çıkmaktadır. Tepkimenin ΔH ve ΔU değerlerini mol başına hesaplayınız.
- 6.135** Neden magnezyum alevinin söndürülmesinde karbon dioksit yangın söndürücü ya da su kullanılmaz? Termodinamik açıdan açıklayınız.

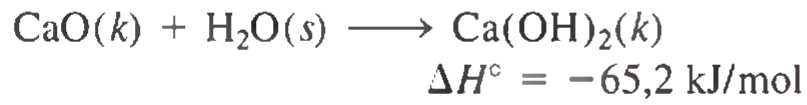
- 6.136** Aşağıdaki tepkimenin 298 K'de ΔU değerini hesaplayınız:



- 6.137 Kireç, kalsiyum oksit (CaO , sönmemiş kireç) ve kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$ sönmüş kireç] içerir. Kireç, çelik endüstrisinde asidik safsızlıkları, hava kirliliğinde SO_2 gibi asit oksitleri ortadan kaldırmakta ve su arıtmada kullanılmaktadır. CaO endüstriyel olarak kireç taşının (CaCO_3) 2000°C'nin üstüne ısıtılması ile elde edilir:



Sönmüş kireç, kalsiyum oksitin su ile etkileştirilmesiyle elde edilir:



Sönmemiş kirecin su ile olan ekzotermik tepkimesi ve sönmemiş kireç (0.946 J/g °C) ve sönmüş kirecin (1.20 J/g °C) oldukça küçük olan özgül ısıları nedeniyle bu maddelerin ahşap kaplarda depolanması ve nakli tehlikelidir. Kireç taşıyan ahşap gemiler su aldığı anda yangın çıkar. (a) 500 g su, bu su miktarına eşit moldeki CaO ile (her ikisi de 25°C'da) tepkimeye girerse, ürünün [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] son sıcaklığı ne olur? Ürünün, tepkimede salınan bütün ısıyı aldığını kabul ediniz. (b) CaO ve H_2O 'un standart oluşum entalpileri sırasıyla -635,6 kJ/mol ve -285,8 kJ/mol olarak bilindiğine göre, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in standart oluşum entalpisini bulunuz.

- 6.138** Saf olmayan bir glukoz ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) örneğinin 4,117 g'ı, ısı kapasitesi 19,65 kJ/°C olan bir sabit-hacim kalorimetresinde yakılıyor. Sıcaklıktaki yükselme 3,134 °C olduğuna göre örnekteki glukoz yüzdesini bulunuz. Safsızlıkların yakma işlemini etkilemediğini kabul ediniz. Termodinamik veriler için Ek 3'e bakınız.

- 6.139 q , w , ΔU ve ΔH başlıklı bir çizelge oluşturunuz. Aşağıda verilen süreçlerin her birinde listelenen niceliklerin pozitif (+), negatif (-) veya sıfır (0) olduğuna karar veriniz. (a) Benzenin donması. (b) Sabit sıcaklıkta bir ideal gazın sıkıştırılması. (c) Sodyumun su ile tepkimesi. (d) Buzun erimesi.

- 6.140** 0,4196 gramlık bir hidrokarbonun yanması 17,55 kJ ısı açığa çıkarır. Ürünlerin kütleleri $\text{CO}_2 = 1,419 \text{ g}$ ve $\text{H}_2\text{O} = 0,290 \text{ g}$ 'dır. (a) Bileşiğin basit formülü nedir? (b) Bileşiğin yaklaşık mol kütlesi 76 g olduğuna göre standart oluşum entalpisini bulunuz.

- 6.141 İnsan vücudunun metabolik aktivitesi bir günde yaklaşık $1,0 \times 10^4 \text{ kJ}$ ısı açığa çıkarır. Vücudun 50 kg'nın su olduğunu kabul ederek, vücut yalıtılırsa

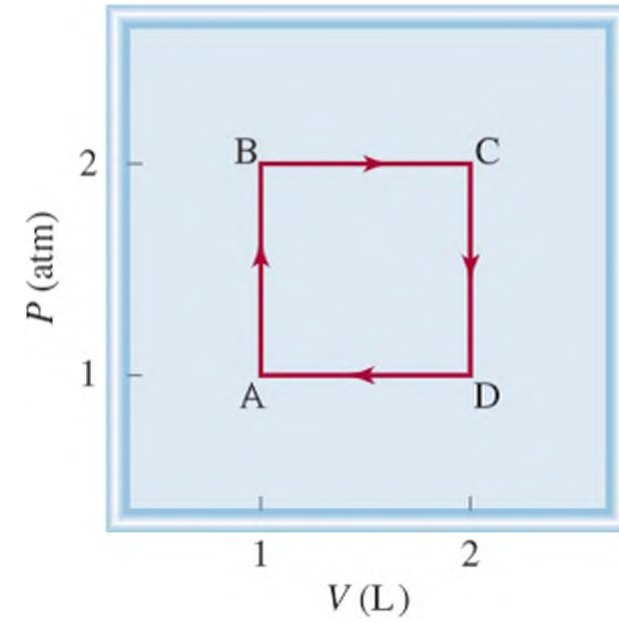
beden sıcaklığı ne kadar artar? Normal beden sıcaklığında (98,6 °F) tutabilmek için vücut terleme ile ne kadar su kaybetmelidir? Sonuçlarınızı açıklayınız. Suyun buharlaşma ısısı 2,41 kJ/g alınabilir.

- 6.142** Aşağıdaki durumların her birine bir örnek veriniz: (a) sisteme ısı eklenmesi sıcaklığını artırır (b) sisteme ısı eklenmesi sıcaklığını değiştirmez (yükseltmez) ve (c) bir sistemin sıcaklığı ısı eklenmesine de uzaklaştırılmasa da değişir.

- 6.143 Aşağıdaki verilerden KI'nın çözelti ısısını bulunuz.

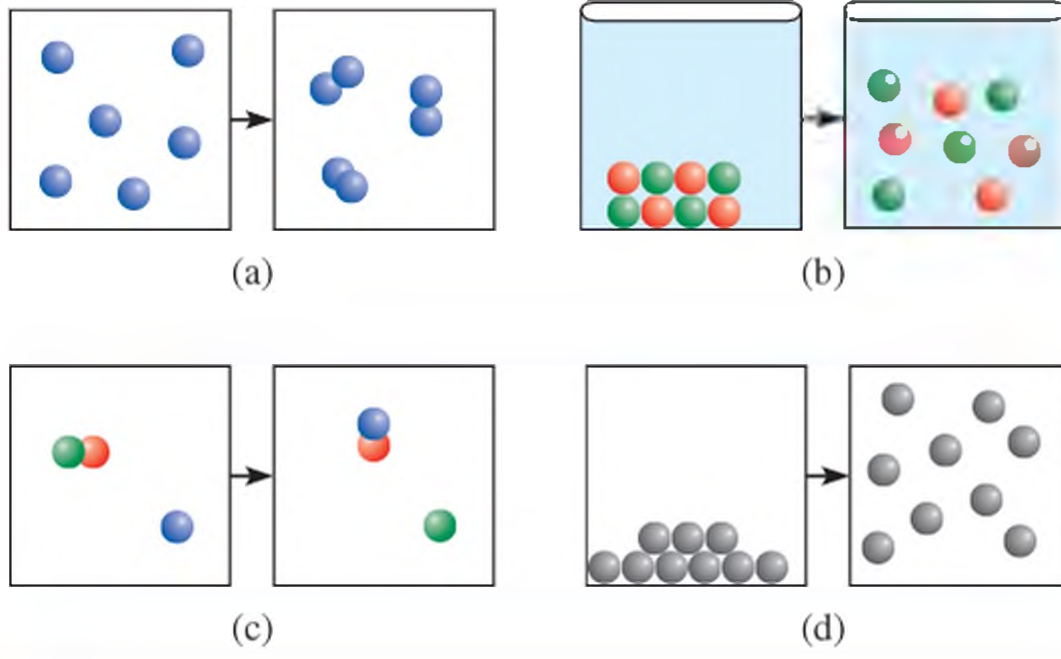
	NaCl	NaI	KCl	KI
Örgü enerjisi (kJ/mol)	788	686	699	632
Çözelti ısısı (kJ/mol)	4,0	-5,1	17,2	?

- 6.144** Bir ideal gazı, aşağıda gösterildiği gibi A noktasından başlayarak genişleme ve sıkıştırmalar içeren bir çevrim yaptırılıyor. Yapılan toplam işi hesaplayınız. Sonuçlarınızı, işin bir hal fonksiyonu olmadığını destekliyor mu?



- 6.145 Yoğunlaşmış fazlardaki tepkimelerde (sıvılar ve katılar) ΔH ile ΔU arasındaki fark çok küçüktür. Bu ifade atmosfer koşullarında gerçekleşen tepkimeler için geçerlidir. Bununla beraber bazı jeokimyasal tepkimelerde dış basınç öyle büyüktür ki ΔH ile ΔU arasındaki fark önemli miktarda olur. En bilinen örnek, Dünya yüzeyinin altında grafitin elmasa dönüşümüdür. 50000 atm'de 1 mol grafitin 1 mol elmasa dönüşümünde ($\Delta H - \Delta U$) farkını hesaplayınız. Grafit ve elmasın yoğunlukları sırasıyla 2,25 g/cm³ ve 3,52 g/cm³'dür.

- 6.146** Sayfa 273'de gösterilen diyagramlar çeşitli fiziksel ve kimyasal süreçleri göstermektedir. (a) $2\text{A}(\text{g}) \longrightarrow \text{A}_2(\text{g})$. (b) $\text{MX}(\text{s}) \longrightarrow \text{M}^+(\text{suda}) + \text{X}^-(\text{suda})$. (c) $\text{AB}(\text{g}) + \text{C}(\text{g}) \longrightarrow \text{AC}(\text{g}) + \text{B}(\text{g})$. (d) $\text{B}(\text{s}) \longrightarrow \text{B}(\text{g})$. Gösterilen olayların ekzotermik mi yoksa endotermik mi olduğunu tahmin ediniz. Bazı durumlarda neden kesin karar verilemeyeceğini açıklayınız.



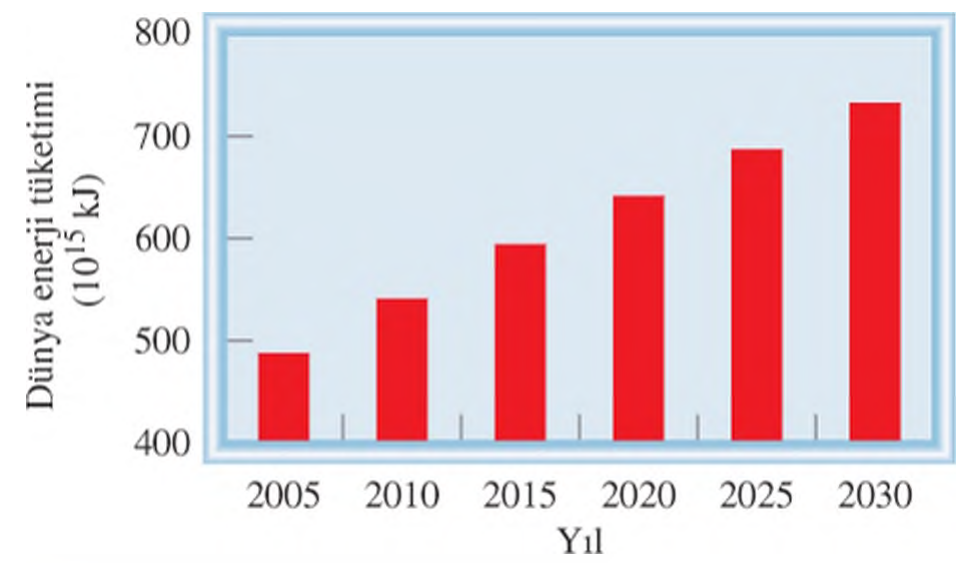
- 6.147 İhmal edilebilir ısı kapasiteli bir sabit basınç kalorimetresinde bulunan $11,2^{\circ}\text{C}$ 'deki 100 g suya, her ikisinde $80,6^{\circ}\text{C}$ 'de olan 20,3 g bilinmeyen metal örneği ile 28,5 g bakır örneği ekleniyor. Suyun ve metallerin son sıcaklığı $13,7^{\circ}\text{C}$ olduğuna göre bilinmeyen metalin özgül ısısını bulunuz.

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 6.148 Birçok biyolojik olay için $\Delta H \approx \Delta U$ 'dir. Açıklayınız.
- 6.149 Ortalama yetişkin bir erkeğin, Newyork Eyalet Binası'nın giriş katından en üst katına kadar çıkmakla yaklaşık olarak ne kadar potansiyel enerji harcadığını bulunuz.
- 6.150 Tenis de en hızlı servis yaklaşık saatte 150 mi'dir. Bu hızdaki bir tenis topunun kinetik enerjisi, 1 mL suyu 30°C ısıtmak için yeterli midir?
- 6.151 Güneşin bir saniyedeki enerji üretimi, Dünya üzerindeki bütün okyanusların suyunu kaynama noktasına getirmeye yeterli midir?
- 6.152 Her yıl atmosfere, 3 trilyon standart ft^3 metanın salındığı belirlenmiştir. Bu miktar metanın atmosfere salınmadan tutulması, bir enerji kaynağı oluşturacak ve aynı zamanda atmosferde güçlü sera gazları daha az oluşacaktır. (aynı moldeki metan: ısıyı tutmada karbon dioksit'e kıyasla 25 kat daha etkilidir). Standart ft^3 değeri, 1 atm ve 60°F 'de ölçülüyor. Her yıl salınan bu metanın yanmasıyla elde edilebilecek enerjiyi hesaplayınız. Metanın yanma ısısı $-890,4\text{kJ/mol}$ 'dür.
- 6.153 Biyokütle fabrikaları, odun yongası gibi atık malzemelerden enerji üretir. Bu fabrikaların bazıları bu hammaddeyi daha sonra yakıt olarak kullanılmak üzere etanole ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) dönüştürür. (a) Eğer karbonun %85'i $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 'a dönüştürse 1,0 ton odun yongasından kaç gram etanol üretilebilir? (b) 1,0 ton odun yongasından elde edilen etanolün yanması ile ne kadar enerji açığa çıkar? (İpucu: Odun yongasını selüloz olarak ele alınız.)
- 6.154 Bir arabanın yakıt deposunda benzin yerine hidrojen gazı taşıdığını farz ediniz. Bir depo benzinin kimya-

sal enerjisine denk olabilmesi için hidrojen gazının depoda hangi basınçta tutulması gerekir?

- 6.155 Bir medya kuruluşu halka yeni yakıt-hücreli bir arabayı tanıtırken "hidrojeni oldukça ucuz" olarak tanıtır ve şöyle duyuruyor "Kaliforniya'da bazı istasyonlar, hidrojenin bir kilogramını 5 \$'dan satıyor. Bir kg hidrojen, bir galon benzinle aynı enerjiye sahiptir. Yani, sanki bir galon için 5\$ ödeniyor gibi. Fakat hidrojenle iki veya üç kat daha fazla yol gidebilirsiniz." Bu iddiayı analiz ediniz.
- 6.156 Hidrokarbonların yanması ile sera gazı olan CO_2 'in nasıl oluştuğu hakkında birçok şey duyarız, fakat enerji tüketimindeki artışın hayatı sürdürmek için gerekli olan atmosferdeki oksijen miktarı üzerine etkisi hakkında fazla bir şey duymayız. Buradaki şekil, geçmişte ve gelecekteki dünya enerji tüketimini göstermektedir. (a) Önümüzdeki on yılda artacak olan enerji tüketimi için kaç mol oksijen gereklidir? (b) Atmosfer oksijenindeki azalma ne kadardır?



Alıştırımların Cevapları

- 6.1 (a) 0. (b) -286 J . 6.2 -63 J . 6.3 $-6,47 \times 10^3\text{ kJ}$. 6.4 $-111,7\text{ kJ/mol}$. 6.5 $-34,3\text{ kJ}$. 6.6 -728 kJ/mol .

- 6.7 $21,19^{\circ}\text{C}$. 6.8 $22,49^{\circ}\text{C}$. 6.9 $87,3\text{ kJ/mol}$. 6.10 $-41,83\text{ kJ/g}$.

İnfilak Eden Lastik[†]

Harvey Smith'in araba lastiğinin tamir işlemi sıradan bir iş olmalıydı. "Tom'un Garajı"nın sahibi Tom Lee, hava pompasını açmak için dışarıya çıkarken, yanında çalışan Jerry'e tamir etmesi için lastiği verdi. Bir kaç dakika sonra Tom çok yüksek bir patlama sesi duydu. Parçalanan lastiğe ve adama bakmak için içeriye koştu. Duvar çökmüş, teçhizat tahrip olmuş ve Jerry yerde baygın yatıyordu. Kanaması vardı. Neyse ki yarası ağır değildi. Hastanede yatarken lastiğin patlamasındaki gizemi çözdü.

Bir çivinin üstünden geçerken lastik patlamıştı. İhtiyatlı bir sürücü olarak Harvey'in arabasında hızlı lastik tamir kutusu(aerosol) vardı. Dolayısıyla lastiğini tekrar şişirebildi ve güvenli bir şekilde evine gitti. Harvey'in kullandığı bu anında lastik tamir edici sprey, propan (C_3H_8) ve bütan (C_4H_{10}) karışımı olan sıvı itici içinde çözünmüş lateks (doğal kauçuk) içermekteydi. Propan ve bütan atmosfer koşullarında gazdır, ancak basınç altında kutuda sıvı olarak bulunur. Kutunun üstündeki supaba basılınca açılır ve içteki basınç azalarak karışım kaynar ve lateks köpüğü oluşur. Bu gaz karışımı lastikteki deliği kapatmak üzere lateks köpüğü itilirken, aynı zamanda lastiği şişirir.

Patlak lastikteki basınç yaklaşık bir atmosfer veya kabaca 15 psi'dir. Aerosol lastik tamir edici kullanarak, Harvey hasarlı lastiğini 35 psi basınca kadar tekrar şişirmişti. Atmosfer basıncının üstünde olan lastiğin bu basıncına, ayar basıncı denir. Dolayısıyla, lastikteki toplam basınç gerçekte (15 + 35) psi veya 50 psi'dir. Propan ve bütan gibi tabii gazların itici gaz olarak kullanılması, bu gazların oldukça yanıcı ve parlayıcı olmalarından dolayı sorunlara neden olmaktadır. Gerçekte bu gazlar hava ile hacimce %2 - 9 aralığında karıştırıldığında, patlamaya neden olan tepkime verirler. Aslında Jerry, Harvey'in lastiğini onarmadan önce bu tehlikeyi biliyordu ve kazayı önlemek için tedbirlerini de aldı. Önce lastikteki fazla havayı boşalttı. Daha sonra lastiği 35 psi'ye hava ile şişirdi ve bu işlemi bir kere daha tekrarladı. Bu, gerçekte propan ve bütanın derişimlerini azaltmak için bir seyreltme işlemiydi. Lastiğin patlamasındaki gerçek, Jerry'nin gazları yeteri kadar seyreltmemesiydi. Fakat tutuşmanın kaynağı neydi?

Jerry lastikteki çivi deliğini bulduğunda, lastik deliğinin pürüzlerini giderici bir alet kullanmıştı. Bu törpü benzeri bir alet olup deliği kapatmak için lastik tıkaç ve sıvı izolasyon maddesi kullanmadan önce, lastiğin doğal kauçuğunu ortaya çıkartmak ve kirden arındırmak için kullanılmaktadır. Jerry'nin patlamadan önce son hatırladığı lastik deliğinden törpüyü çekmesiydi. Daha sonra, bildiği tek şey hastanede her yeri acı içerisinde yatmasıydı. Bu gizemi çözmek için aşağıda verilen ipuçlarından yararlanınız.

[†]Yukarıdaki "İnfilak Eden Lastik" başlıklı okuma parçası, "Joy A. Young, CHEM MATTERS, April, 1988, p.12. Copyright 1995 American Chemical Society" izniyle uyarlanmıştır.

Kimyasal ipuçları

1. Propan ve bütan için denkleştirilmiş yanma eşitliklerini yazınız. Ürünler karbondioksit ve sudur.
2. Harvey patlak lastiği 35 psi'ye şişirdiğinde, propan ve bütan gazlarının hacimce bileşimi şöyledir : $(35\text{psi}/50\text{psi}) \times \%100$ yani %70. Jerry lastiğin havasını birinci defa indirdiğinde basınç 15 psi'ye düşer fakat bileşim yüzde 70'dedir. Bu olgulara dayanarak propan ve bütanın iki boşaltma - şişirme basamağı sonunda yüzde bileşimi ne olur? Patlama aralığına düşer mi?
3. Harvey'in patlak lastiği çelik-kuşaklı lastik olarak verildiğine göre, gaz karışımının tutuşmasının nasıl tetiklenmiş olabileceğini açıklayınız.(Bir çelik- kuşaklı lastiğin. dış güçlendirme için iki çelik telli kuşağı ve iç güçlendirme için iki poliester kuşağı vardır.)



Hızlı lastik tamiri.

Kuantum Kuramı ve Atomların Elektron Yapısı



“Neon ışığı” çeşitli soy gazlar, cıva ve fosfor atomlarının ışınları için kullanılan genel bir terimdir. Uyarılmış cıva atomlarından gelen UV ışınları fosfor kaplı tüplerin beyaz ve diğer renklerde floresan ışınma yapmalarına neden olurlar.

Bölüm Başlıkları

- 7.1 Klasik Fizikten Kuantum Kuramına
- 7.2 Fotoelektrik Olayı
- 7.3 Bohr Hidrojen Atomu Kuramı
- 7.4 Elektronun İkili Doğası
- 7.5 Kuantum Mekanikliği
- 7.6 Kuantum Sayıları
- 7.7 Atom Orbitaleri
- 7.8 Elektron Dağılımı
- 7.9 Yerleştirme İlkesi

Toplu Bakış

- Klasik fizikten kuantum kuramına geçişi tartışarak başlayacağız. Özellikle, dalgaların ve elektromanyetik ışınımın özellikleri ve kuantum kuramının Planck formülünü öğreneceğiz. (7.1)
- Einstein’ın fotoelektrik etkiyi açıklaması, kuantum kuramının gelişimine doğru bir diğer adımdır. Deneysel gözlemleri açıklamak için Einstein, ışığın foton adı verilen bir parçacık paketi gibi davrandığını öne sürmüştür. (7.2)
- Daha sonra, hidrojen atomunun yayılma spektrumunu Bohr kuramı ile açıklayacağız. Bohr, özellikle bir atomdaki elektronun enerjilerinin kuantize olduğunu ve yüksek enerjili düzeyden düşük düzeylere geçişlerin yayılma çizgileri verdiklerini öne sürmüştür. (7.3)
- Bohr kuramı gizeminin bir kısmı, elektronların dalgalar gibi davrandığını öneren de Broglie tarafından açıklanmıştır. (7.4)
- Kuantum kuramı ile ilgili ilk fikirlerin fizikte kuantum mekaniği olarak adlandırılan yeni bir döneme yol açtığını göreceğiz. Heisenberg belirsizlik ilkesi, kuantum mekaniksel sistemlerde ölçümlere ilişkin sınırlamaları belirlemektedir. Schrödinger dalga denklemi ise atomların ve moleküllerin elektron davranışlarını açıklar. (7.5)
- Atomun elektronları ve elektronların içinde bulunduğu orbitallerinin özelliklerini açıklamak için dört kuantum sayısı olduğunu öğreneceğiz. (7.6 ve 7.7)
- Elektron dizilimi, bir atomdaki elektronların dağılımını izlememize ve manyetik özelliklerini anlamamıza olanak tanır. (7.8)
- Son olarak, atomların elektron dizilimleriyle ilgili yerleştirme kurallarını tüm periyodik çizelgeye uygulayacağız. Elementleri değerlik elektron dağılımlarına göre gruplandıracağız. (7.9)

Kuantum kuramı, elektronların kimyada oynadıkları kritik rolü anlamamızı ve öngörmemizi sağlar. Atomları incelemek, aşağıdaki soruları sormak anlamına gelir:

1. Belirli bir atomda kaç tane elektron vardır?
2. Her bir elektronun sahip olduğu enerji nedir?
3. Bir atomda elektronlar nerede bulunabilir?

Bu soruların yanıtları, kimyasal tepkimelerdeki tüm maddelerin davranışlarıyla doğrudan ilişkilidir ve yanıtların aranması tartışmalarımıza önemli bir zemin sağlar.

7.1 Klasik Fizikten Kuantum Kuramına

On dokuzuncu yüzyıl bilim adamlarının atom ve molekülleri anlamaya yönelik ilk çabaları, kısmi bir başarı ile sınırlı kalmıştır. O günlerde moleküllerin zıplayan toplar gibi davrandıklarını varsayan fizikçiler, bu yaklaşımla moleküllere ilişkin bazı makroskopik olguları, örneğin gazların basıncını açıklayabilmekteydiler. Bu model, moleküllerin kararlılıklarını, yani atomlarını bir arada tutan kuvvetleri açıklayabilmekte yetersiz kalmaktaydı. Atom ve molekül gibi küçük taneciklerin özelliklerinin, büyük cisimler için önerilen yasalarla açıklanamayacağını kavramak uzun süre almıştır. Bu durumun kabullenilmesi ise daha da uzun bir süre gerektirmiştir.

Fizikte, 1900'de Max Planck¹ adlı genç bir Alman Fizikçi tarafından yeni bir dönem başlatılmıştır. Değişik sıcaklıklara ısıtılan katıların yayınladığı ışıma ile ilişkili verileri inceleyen Planck, atom ve moleküllerin sadece *enerji paketçikleri* (*kuant*) adı verilen belirli miktarlardaki enerjiyi yayınladıklarını keşfetmiştir. O zamana kadar fizikçiler, enerjinin daima sürekli olduğunu yani ışmanın yayılmasında herhangi bir enerjinin açığa çıkamayacağını kabul etmekteydiler. Halbuki Planck'ın *kuantum kuramı*, tüm fiziği altüst etmiştir. Bu durumun yarattığı yoğun araştırma heyecanı, doğa kavramına yönelik fikirleri bütünüyle değiştirmiştir.

Dalgaların Özellikleri

Kuantum kuramını anlamak için, öncelikle dalgalar hakkında bazı temel kavramların bilinmesi gereklidir. **Dalga**, *titreşmeyle enerjiyi aktaran bir olgu* olarak düşünülebilir. Bir dalganın temel özellikleri, bildiğimiz türdeki su dalgaları (Şekil 7.1) ile gösterilmiştir. İki dalga arasındaki tepeler ve çukurların düzenli değişimi, dalgaların yayılma özelliğini gösterir.

Dalgalar, uzunluğu ve yüksekliği ve belirli bir noktadan geçen saniyedeki dalga sayısı ile karakterize edilir (Şekil 7.2). *Ardışık dalgalarda, eş noktalar arasındaki mesafeye, dalga boyu λ (lamda) denir.* Bir dalganın *frekansı ν (nü) ise, belirli bir noktadan bir saniyede geçen dalga sayısıdır.* Diğer taraftan bir dalgaya ilişkin *genlik* (veya *yükseklik*), *dalganın orta çizgisinden tepesine veya çukuruna olan dik mesafe* olarak tanımlanır.

Dalgaların önemli özelliklerinden biri de hızıdır (u). Bir dalganın hızı, dalganın türüne ve yol aldığı ortama (örneğin hava, su veya vakum) bağlıdır. Dalga boyu ile frekansının çarpımı, dalga hızını verir:

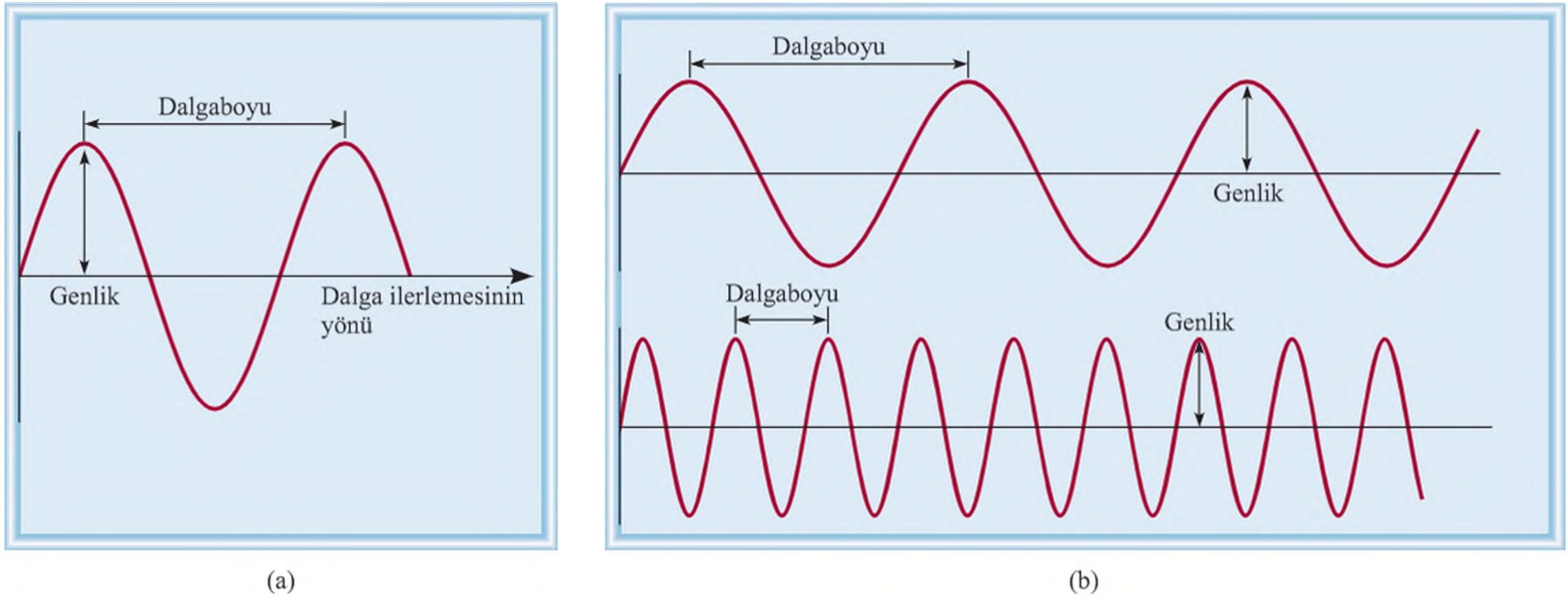
$$u = \lambda \nu \quad (7.1)$$

Eşitlik 7.1'de yer alan üç terimin birimleri incelendiğinde, eşitliğin kavranması kolaylaşır. Dalga boyu (λ), dalganın uzunluğunu ya da tek bir dalga için mesafeyi gösterir

¹Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947). Alman fizikçi. Planck, kuantum kuramıyla ilgili çalışmalarından dolayı 1918 yılında Nobel Fizik Ödülünü almıştır. Ayrıca, termodinamik ve fiziğin diğer alanlarına önemli katkılarda bulunmuştur..



Şekil 7.1 Okyanus su dalgaları.



Şekil 7.2 (a) Dalga boyu ve genlik. (b) Farklı dalga boyu ve frekansa sahip iki dalga. Üstteki dalganın dalga boyu alttakinin üç misli, frekansı üçte biri kadardır. Her iki dalganın hızı ve genlikleri aynıdır.

(uzaklık/dalga). Frekans (ν) ise bir referans noktasından birim zamanda geçen dalga sayısıdır ya da “dalga/zaman”dır. Bu iki terimin çarpımı ise “mesafe/zaman” yani hızı verir:

$$\frac{\text{uzaklık}}{\text{zaman}} = \frac{\text{uzaklık}}{\text{dalga}} \times \frac{\text{dalga}}{\text{zaman}}$$

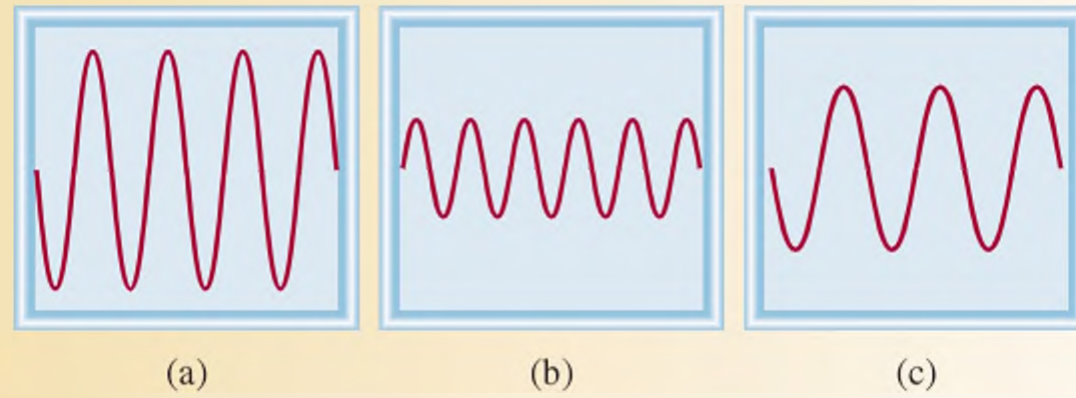
Dalga boyu genellikle metre, santimetre veya nanometre birimleriyle ifade edilir. Frekans ise hertz (Hz) birimindedir.

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ çevrim/s}$$

Frekansı ifade ederken “çevrim” sözcüğü pek kullanılmaz. Onun yerine örneğin, 25/s denir. Bunun anlamı saniyede 25 çevrimdir ve “saniyede 25” olarak okunur.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda gösterilen dalgaların hangisi (a) en yüksek frekansa, (b) en uzun dalga boyuna, (c) en yüksek genliğe sahiptir?



Elektromanyetik Işıma

Dalgalar, su dalgaları, ses dalgaları, ışık dalgaları gibi birçok farklı türde olabilirler. 1873’de James Clerk Maxwell görünür ışığın elektromanyetik dalgalarından oluştuğunu öne sürdü. Maxwell kuramına göre, bir *elektromanyetik dalga*nın, bir *elektrik alan*

Ses ve su dalgaları elektromanyetik dalgalar değildir. Ancak X-ışınları ve radyo dalgaları elektromanyetik dalgalardır.

bileşeni, bir de manyetik alan bileşeni bulunur. Bu iki bileşen aynı dalga boyu, aynı frekans ve dolayısıyla aynı hızla sahip olmasına karşın, birbirlerine dik iki düzlemde yol alırlar (Şekil 7.3). Maxwell kuramı, ışığın genel davranışının matematiksel olarak açıklanabilmesi bakımından çok önemlidir. Maxwell modeli, ışıma halindeki enerjinin, uzayda titreşen elektrik ve manyetik alanlar olarak nasıl ilerlediğini tam olarak açıklayabilmektedir. *Enerjinin, elektromanyetik dalgalar halinde yayılma ve iletilmesi, elektromanyetik ışıma olarak* adlandırılır.

Elektromanyetik dalgalar vakumda yaklaşık $3,00 \times 10^8$ m/s ya da 186000 mil/s hızla yol alırlar. Bu hız, bir ortamdan diğer ortama (vakum ile hava gibi) farklılık göstermesine karşın, söz konusu fark hesaplamaları etkileyecek kadar önemli değildir. Elektromanyetik ışımanın hızı ya da daha yaygın şekilde anıldığı gibi *ışık hızı, c* sembolü ile ifade edilir. Elektromanyetik ışımanın dalga boyu ise, genellikle nanometre (nm) cinsinden verilir.

Örnek 7.1

Trafik sinyal lambasındaki yeşil ışığın dalga boyu 522 nm'dir. Bu ışımanın frekansı nedir?

İzlenecek Yol Bize dalga boyu verilen bir elektromanyetik dalganın, frekansının hesaplanması istenmektedir. Eşitlik 7.1'de hız (u) yerine c (ışık hızı) yerleştirilerek, yeniden düzenlendiğinde, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Çözüm Işık hızı m/s cinsinden verildiğinden, dalga boyunun öncelikle metreye çevrilmesi gerekir. $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ olduğunu hatırlarsak (Çizelge 1.3'e bakınız), şöyle yazabiliriz:

$$\begin{aligned} \lambda &= 522 \text{ nm} \times \frac{1 \times 10^{-9} \text{ m}}{1 \text{ nm}} = 522 \times 10^{-9} \text{ m} \\ &= 5,22 \times 10^{-7} \text{ m} \end{aligned}$$

Işık hızı ve dalga boyu eşitlikteki yerlerine konursa, frekans şöyle hesaplanır:

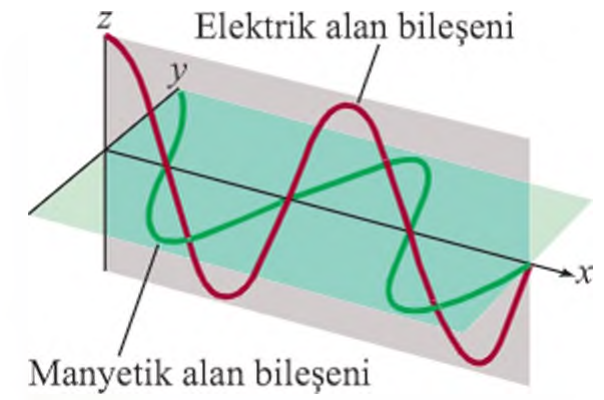
$$\begin{aligned} \nu &= \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5,22 \times 10^{-7} \text{ m}} \\ &= 5,75 \times 10^{14} / \text{s veya } 5,75 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

Kontrol Bulunan sonuç, belirli bir noktadan her saniyede $5,75 \times 10^{14}$ dalga geçtiğini göstermektedir. Hesaplanan bu yüksek frekans, ışığın yüksek hızına uygundur.

Alıştırma Frekansı $3,64 \times 10^7 \text{ Hz}$ olan bir elektromanyetik dalganın dalga boyu metre cinsinden ne olmalıdır?

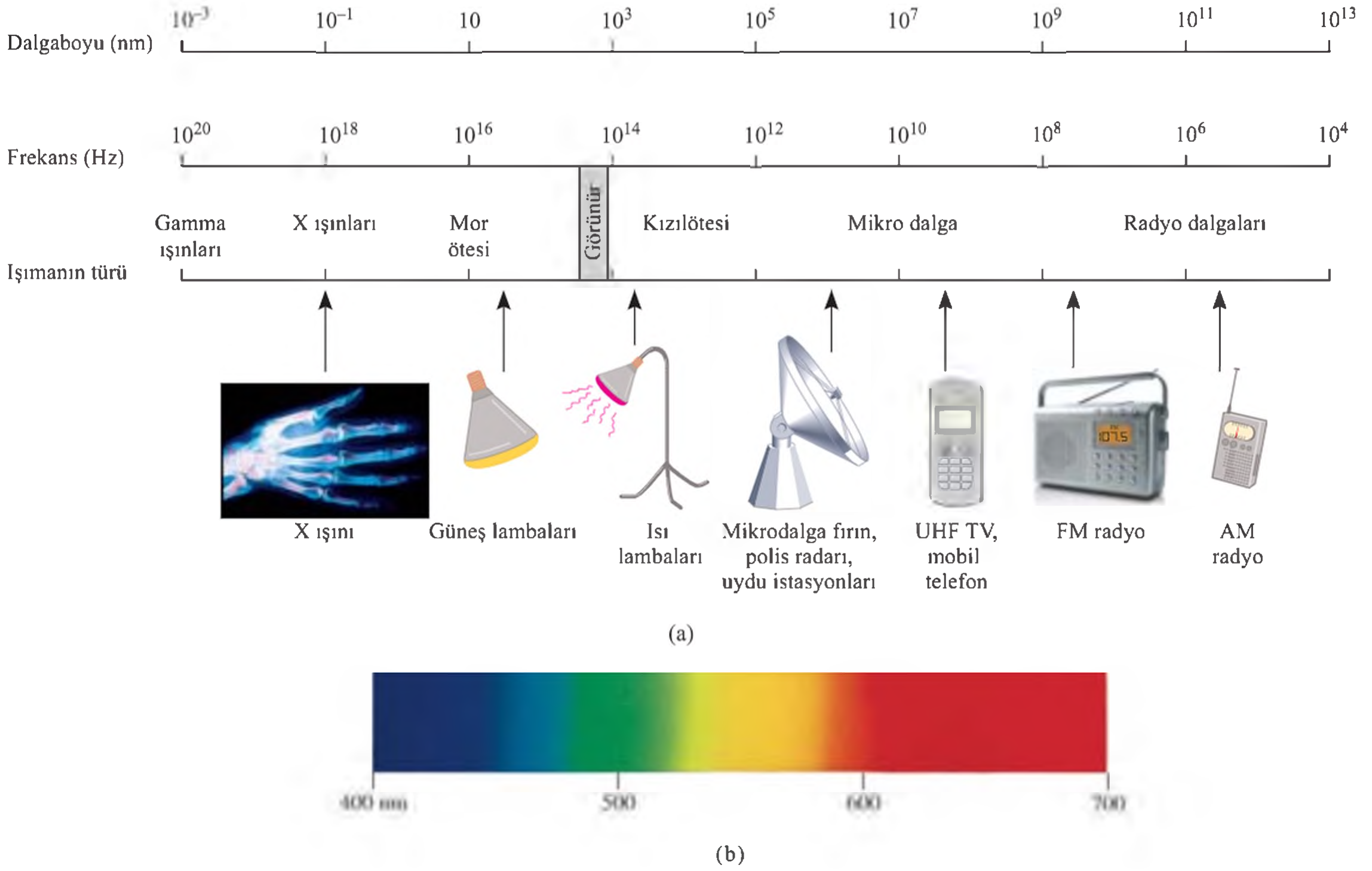
Şekil 7.4'de dalga boyları ve frekansları birbirinden farklı, çeşitli elektromanyetik ışıma türleri görülmektedir. Uzun radyo dalgaları, radyo yayın istasyonlarında kullanılan büyük antenler ile yayınlanırlar. Daha kısa olan görünür ışık dalgaları, atom ve moleküllerdeki elektron hareketleri nedeniyle oluşurlar. En kısa ve aynı zamanda en yüksek frekansa sahip dalgalar, atom çekirdeğindeki değişiklikler sonucunda ortaya çıkan γ (gamma) ışınlarıdır (Bölüm 2'ye bakınız). Göreceğimiz gibi, elektromanyetik ışımanın frekansı ne kadar yüksekse, enerjisi de o kadar yüksek olur. Buna göre, mor ötesi ışınlar, X-ışınları ve γ -ışınları yüksek enerjili ışımalardır.

Işık hızının tam değeri bu kitabın arka kapığında verilmiştir.



Şekil 7.3 Elektromanyetik bir dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri. Bu bileşenler aynı dalga boyu, frekans ve genliğe sahip olmalarına karşın, birbirlerine dik düzlemlerde salınırlar.

Benzer problem: 7.7.



Şekil 7.4 (a) Elektromanyetik ışıma türleri. Gamma ışınları en kısa dalga boyuna ve en yüksek frekansa sahiptir; radyo dalgaları en uzun dalga boyuna ve en düşük frekansa sahiptir. Işıma türlerinin her biri, belirli bir dalga boyu (veya frekans) aralığında yayılır. (b) Görünür ışığın dalga boyu 400 nm (mor) ile 700 nm (kırmızı) arasındadır.

Planck Kuantum Kuramı

Katılar ısıtıldıklarında, geniş bir dalga boyu aralığında elektromanyetik ışıma yayımlarlar. Elektrikli ısıtıcıların mat kırmızı ışığı ve tungsten lambanın parlak beyaz ışığı, ısıtılan katıların ışımasına ilişkin örneklerdendir.

On dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında yapılan çalışmalar, cisimlerin belirli bir sıcaklıkta yayınladıkları ışıma enerjisi miktarının, ışımanın dalga boyuna bağlı olduğunu göstermiştir. Bu bağıllığın dalga kuramı ve termodinamik yasalar çerçevesinde açıklanması çabaları ise kısmen başarılı olabilmıştır. Bu kuram kısa dalga boyu için enerji-dalga boyu ilişkisini açıklayabilmekte başarılı olurken; uzun dalga boyu için açıklama getirememiştir. Bir başka kuram ise, uzun dalga boyundaki ışımalara açıklama getirmesine karşın, kısa dalga boyu için başarısız olmuştur. Bu durum, klasik fizik yasalarında temel bir eksikliğin var olduğu kuşkusunu doğurmuştur.

Planck, bu problemi alışlagelmiş kavramlardan çok farklı bir varsayım yardımıyla çözebilmiştir. Klasik fizik, atom ve moleküllerin herhangi bir miktardaki enerjiyi yayımlayabileceklerini (veya soğurabileceklerini) varsaymaktadır. Planck ise atomların ve moleküllerin enerjiyi, küçük paketler veya demetler gibi belirli miktarlarda yayımlayıp soğurabileceklerini savunmuştur. Planck, *enerjinin elektromanyetik ışıma şeklinde yayımlanabilen (veya soğurulabilen) en küçük miktarına kuantum* adını vermiştir. Tek bir kuantumun enerjisi E ise,

$$E = h\nu \quad (7.2)$$

Kısa dalga bölgesindeki başarısızlık mor ötesi felaketi olarak adlandırılır.

eşitliği ile ifade edilmiştir. Yukarıda verilen eşitlikte h , Planck sabiti diye adlandırılan sabiti ve ν ise ışının frekansını belirtmektedir. Planck sabitinin değeri, $6,63 \times 10^{-34}$ J · s'dir. Frekans $\nu = c/\lambda$ olduğundan, Eşitlik (7.2) aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (7.3)$$

Kuantum kuramına göre, enerji daima $h\nu$ 'nin tam katları olarak yayılır. Örneğin, enerji $h\nu$, $2 h\nu$, $3 h\nu$, ... değerlerinde olabilir. Ancak asla $1,67h\nu$ veya $4,98 h\nu$ gibi değerlerde olamaz. Planck, kuramını ilk ortaya koyduğu günlerde enerjinin neden sabit ya da bu şekilde kesikli paketçikler halinde (kuantlı) olduğunu açıklayamamıştı. Ancak ortaya koyduğu bu hipotezle ısıtılan katıların yayınladıkları ışıma ile ilişkili deneysel veriler, elektromanyetik ışıma bölgesinin *tamamı* için açıklanabilmekte ve kuantum kuramını destekler doğrultuydu.

Enerjinin kuantlı ya da “demetlenmiş” halde bulunması fikri, ilk bakışta biraz garip gelse de, kuantlaşma kavramının pek çok benzerleri mevcuttur. Örneğin, elektrik yükü de kuantlıdır. Çünkü elektrik yükü bir elektron yükü olan e 'nin sadece tam katları değerinde olabilir. Maddenin kendisi de kuantlıdır. Çünkü bir maddede yer alan elektron, proton, nötron ve atomların sayıları, daima tam sayılarla ifade edilir. Para sisteminiz de kuruş adı verilen “kuantum” benzeri bir temele dayanır. Hatta canlılardaki bazı süreçlerin bile kuantlı olgular oldukları söylenebilir. Örneğin, tavuğun yumurtaları kuantlıdır. Aynı şekilde hamile bir kedi yarım veya dörtte üç yavru doğurmaz, tam sayılarda yavrular doğurur.

Kavramların Değerlendirilmesi

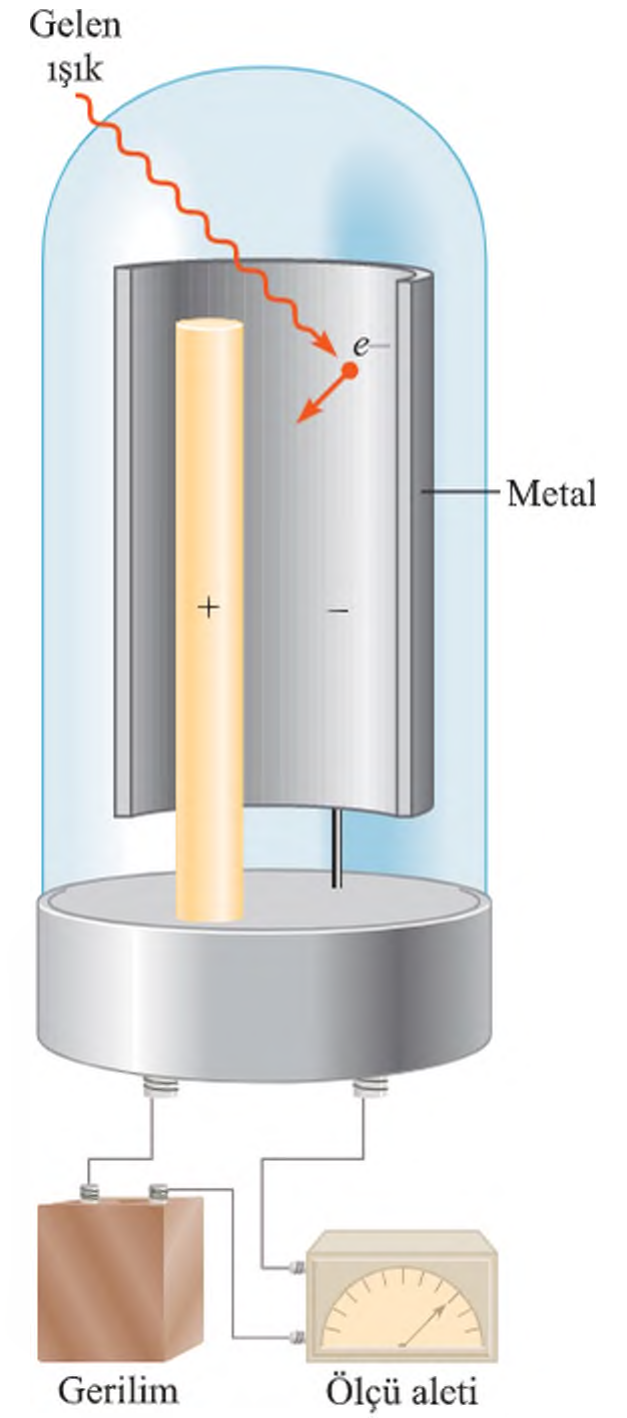
Güneş yanığı, neden görünür bölge veya kızılötesi bölgesindeki ışıma değil de yalnızca UV ışımasına bağlıdır?

7.2 Fotoelektrik Olay

Planck'ın kuantum kuramını ortaya atmasından sadece 5 yıl sonra 1905'de, Albert Einstein¹, bu kuramı kullanarak fiziğin bir diğer gizemi olan **fotoelektrik olayı**ı çözdü. Fotoelektrik olayı, *bazı metallerin yüzeylerine eşik frekansı olarak adlandırılan bir minimum frekanstan (Şekil 7.5) itibaren ışık düşürüldüğü zaman, metal yüzeyinden elektron koparılıp fırlatılması* olayına verilen isimdir. Fırlatılan elektronların sayısı metal yüzeyine düşürülen ışığın şiddeti (veya parlaklığı) ile doğru orantılı olmasına karşın enerjileri değildir. Eşik frekansının altındaki uyarıcı ışığı ne kadar şiddetli olursa olsun, elektron koparılmasına neden olmaz.

Fotoelektrik olay ışığın dalga kuramı ile açıklanamamıştır. Ancak Einstein, sıra dışı bir yaklaşımla ışık demetinin gerçekte bir parçacık seli olduğunu öne sürmüştür. Günümüzde bu *ışık parçacıkları* **foton** olarak adlandırılmaktadır. Einstein, Planck'ın kuantum kuramından yola çıkarak, frekansı ν olan her fotonun aşağıdaki denklemde verilen E enerjisine sahip olacağını öne sürdü:

$$E = h\nu$$



Şekil 7.5 Fotoelektrik olayının incelenmesi için kullanılan düzenek. Belirli frekansta ışık, temiz bir metal yüzeye düşer. Metalden kopan elektronlar, pozitif elektroda doğru çekilir. Elektron akışı, bir ölçme cihazı ile ölçülür. Fotoğraf makinelerinde kullanılan ışıkölçer, fotoelektrik etkiye göre çalışır.

Bu eşitlik, Eşitlik (7.2) ile aynıdır. Çünkü, göreceğimiz gibi elektromanyetik ışıma foton şeklinde yayımlandığı gibi, foton şeklinde soğurulur.

¹Albert Einstein (1879-1955). Alman asıllı Amerikalı fizikçidir. Dünyadaki iki büyük fizikçiden biri (diğeri, Isaac Newton) olarak kabul edilir. Bern'deki İsviçre patent bürosunda asistan olarak çalışırken, 1905 yılında yayımlanan üç makalesi (görelilik, Brown hareketi ve fotoelektrik etki), fizik alanındaki gelişimi çok fazla etkilemiştir. Fotoelektrik olayı üzerine yaptığı çalışmalarla 1921 yılında Nobel Fizik Ödülünü almıştır.

Örnek 7.2

(a) $5,00 \times 10^4$ nm dalga boyunda (kızılötesi bölge) bir fotonun (b) $5,00 \times 10^{-2}$ nm dalga boyunda (X-ışınları bölgesi) bir fotonun enerjilerini joule cinsinden hesaplayınız.

İzlenecek Yol Hem (a)'da hem de (b)'de bir fotonun dalga boyu verilmiş, enerjisinin hesaplanması istenmektedir. Bu enerjiyi hesaplamak için Eşitlik 7.3'ü kullanmalıyız. Planck sabitinin değeri metin içinde ve kitabın arka kapağının iç yüzünde verilmiştir.

Çözüm (a) Eşitlik (7.3)'ü kullanırsak,

$$\begin{aligned} E &= h \frac{c}{\lambda} \\ &= \frac{(6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3,00 \times 10^8 \text{ m/s})}{(5,00 \times 10^4 \text{ nm}) \frac{1 \times 10^{-9} \text{ m}}{1 \text{ nm}}} \\ &= 3,98 \times 10^{-21} \text{ J} \end{aligned}$$

Bulunan sonuç dalga boyu $5,00 \times 10^4$ nm olan tek bir fotonun enerjisidir.

(b) (a)'daki çözüm yolu izlenerek, dalga boyu $5,00 \times 10^{-2}$ nm olan tek bir fotonun enerjisi $3,98 \times 10^{-15} \text{ J}$ bulunur.

Kontrol Bir fotonun dalga boyu azaldıkça enerjisi artacağından: “X-ışını” fotonunun enerjisi “kızılötesi” fotonuna kıyasla 1×10^6 kez, yani milyon kez daha fazladır.

Alıştırma Enerjisi $5,87 \times 10^{-20} \text{ J}$ olan bir fotonun dalga boyu nanometre cinsinden ne olmalıdır?

Berzer problem: 7.15.

Elektronların metal içinde bulunmalarını çekim kuvvetleri sağlar. Bu nedenle elektronların metalden ayrılarak serbest hale geçmeleri için, frekansı yeterince yüksek (yeterli enerjiye sahip) bir ışık gereklidir. Metal yüzeyine ışık demetinin uygulanması, metal atomlarına bir foton ya da parçacık tabancası ile ateş etmeye benzer. Eğer bu fotonların $h\nu$ değeri, elektronları metale bağlayan enerjiye tam olarak eşit ise, ışık enerjisi (foton) metalden elektron koparmak için yeterli olacaktır. Metal yüzeyine daha yüksek bir frekansa sahip ışık gönderilirse, o takdirde elektronlar kopmaları yanı sıra, bir miktar kinetik enerjiye sahip olurlar. Bu durum aşağıdaki eşitlikle özetlenebilir.

$$h\nu = KE + W \quad (7.4)$$

Eşitlikte, KE kopan elektronun kinetik enerjisi, W ise, elektronun metalde ne kadar kuvvetle tutulduğunun bir ölçüsü, yani bir iş fonksiyonudur. Eşitlik 7.4'ün yeniden düzenlenerek yazılmasıyla, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$KE = h\nu - W$$

Buna göre, fotonun enerjisi ne kadar büyük olursa (yani frekansı yüksek) metalden kopan elektronun kinetik enerjisi de o kadar büyük olur.

Metal yüzeyine şiddetleri farklı, ancak frekansları aynı (ve eşik frekansının üstünde) olan iki ışın demeti düşünülüğünde, daha yüksek şiddetteki ışık demetinde foton sayısı daha fazla olacağından, metal yüzeyinden daha fazla elektron kopması sağlanır. Buna göre, bir metal hedefe düşen ışığın şiddeti ne kadar fazla ise, metalden yayımlanan elektron sayısı da o kadar fazla olur. Işığın frekansı ne kadar yükseğe, kopan elektronların kinetik enerjileri de o kadar büyük olacaktır.

Örnek 7.3

Sezyum metalinin iş fonksiyonu $3,42 \times 10^{-19}$ J'dür. (a) Metal yüzeyinden elektron koparmak için gereken ışığın minimum frekansını hesaplayınız. (b) Metal üzerine frekansı $1,00 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ olan ışın gönderilirse, koparılan elektronun kinetik enerjisini hesaplayınız.

İzlenecek Yol (a) Bir elementin iş fonksiyonu ve ışık frekansı arasındaki ilişki Eşitlik (7.4) ile verilir. Bir elektron koparmak için gereken ışığın minimum frekansı, koparılan elektronun kinetik enerjisinin sıfır olduğu noktadır. (b) İş fonksiyonu ve ışığın frekansı bilinirse koparılan elektronun kinetik enerjisi hesaplanabilir.

Çözüm (a) Eşitlik (7.4) de $KE = 0$ alarak, aşağıdaki eşitlik yazılabilir

$$h\nu = W$$

Böylece,

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{W}{h} = \frac{3,42 \times 10^{-19} \text{ J}}{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} \\ &= 5,16 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

(b) Eşitlik (7.4)'ün düzenlenmesi ve bilinen değerlerin eşitlikte yerine koyulması ile KE bulunur:

$$\begin{aligned} KE &= h\nu - W \\ &= (6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(1,00 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}) - 3,42 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= 3,21 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

Kontrol Koparılan elektronun kinetik enerjisi ($3,21 \times 10^{-19}$ J) fotonun enerjisinden ($6,63 \times 10^{-19}$ J) daha küçüktür. Bu nedenle sorunun yanıtı mantıklıdır.

Alıştırma Titanyumun iş fonksiyonu $6,93 \times 10^{-19}$ J'dür. Metal üzerine frekansı $2,50 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ olan ışın demeti gönderilirse koparılan elektronun kinetik enerjisini hesaplayınız.

Benzer problemler: 7.21, 7.22.

Einstein'ın ışık kuramı, bilim adamları arasında bir ikilem oluşturdu. Bu kuram fotoelektrik olayını başarılı bir şekilde açıklayabilmesine karşın, tanecik kuramı ışığın bilinen dalga davranışına uymamaktaydı. Bu ikilemin tek çözümü ışığın hem tanecik hem de dalga özelliği gösterdiğini kabul etmekle bulundu. Yapılan deneyler ışığın hem dalga hem de tanecik özelliği gösterdiğini doğrulamıştır. Bu kavram fizikçilerin madde ve ışınla düşüncelerine bütünüyle yabancı geldiğinden, kabullenmeleri uzun süre aldı. Kesim 7.4'de de göreceğimiz gibi, ikili doğa (parçacık ve dalga) sadece ışığa özgü bir özellik değil, elektronlar da dahil, tüm maddelere özgüdür.

Kavramların Değerlendirilmesi

Temiz bir metal yüzey üç farklı dalga boyunda (λ_1 , λ_2 , λ_3) ışımlanmaktadır. Kopan elektronların kinetik enerjileri şöyledir: KE_1 : $2,9 \times 10^{-20}$ J; KE_2 = yaklaşık sıfır; KE_3 : $4,2 \times 10^{-19}$ J. Hangi ışın en kısa dalga boyuna ve hangi ışın en uzun dalga boyuna sahiptir?

7.3 Bohr Hidrojen Atomu Kuramı

Einstein'ın çalışması, 19. yüzyılda fiziğin diğer bir gizemi olan “atomların yayılma spektrumlarının” aydınlatılmasını sağlamıştır.

Yayılma Spektrumları

Animasyon
Yayılma Spektrumu

Animasyon
Çizgi Spektrumu



Yemek çatalları arasına yüksek bir gerilim uygulandığında, salatalık turşusundaki bazı sodyum iyonları, uyarılmış sodyum atomlarına dönüşür. Bu atomlar temel hale geçerken karakteristik sarı ışık yayarlar.

Animasyon
Atomik Çizgi Spektrumu

17. yüzyılda Newton'un güneş ışığının farklı renklerde bileşenlerden oluştuğunu ve bunların bir araya gelmesiyle beyaz ışığın meydana geldiğini göstermesiyle birlikte, kimyacılar ve fizikçiler, *yayılma spektrumlarının* özelliklerini, yani maddelerin yayımlandıkları *ışınların sürekli ya da çizgi (hat) spektrumunu olup olmadığını* incelemeye başladılar. Bir maddeyi ısıtılarak ya da başka yollarla örneğin, gaz fazında yüksek voltajda elektrik boşalımı enerji aktarımı sonunda, o maddeye özgü yayılma spektrumunu gözlenir. Örneğin, çok sıcak bir ısı kaynağından yeni çıkarılmış “akkor” veya “kızıl kor” halindeki bir demir çubuk kendine özgü bir parlaklık gösterir. Gözlenebilir bu parlaklık, demir çubuğun yayılma spektrumunun gözle algılanabilen kısmıdır. Aynı demir çubuğun biraz daha düşük sıcaklıktaki kesiti ise, yayılma spektrumunun bir diğer kısmını, yani kızılötesi bölgesini temsil eder. Güneşin ve ısıtılmış bir katının yayılma spektrumlarının ortak yönü, her ikisinin de sürekli spektruma sahip olmaları, yani görünür bölgedeki her dalga boyunun söz konusu spektrumlarda yer almasıdır (Şekil 7.4'de görünür bölgeye bakınız).

Gaz fazındaki atomların yayılma spektrumları, ısıtılmış katılarda olduğu gibi dalga boyları kırmızıdan mora doğru değişen sürekli bir dağılım göstermezler. Aksine bu durumdaki atomlar görünür bölgenin değişik kesimlerinde parlak çizgiler oluştururlar. Bu **çizgi spektrumları** *sadece belirli dalga boylarındaki ışınalara aittir*. Şekil 7.6'da yayılma spektrumunun incelenmesinde kullanılan bir boşalım tüpünün şematik gösterimi yer almaktadır. Şekil 7.7'de ise, boşalım tüpündeki hidrojen atomlarının yayınladığı ışığın rengi görülmektedir.

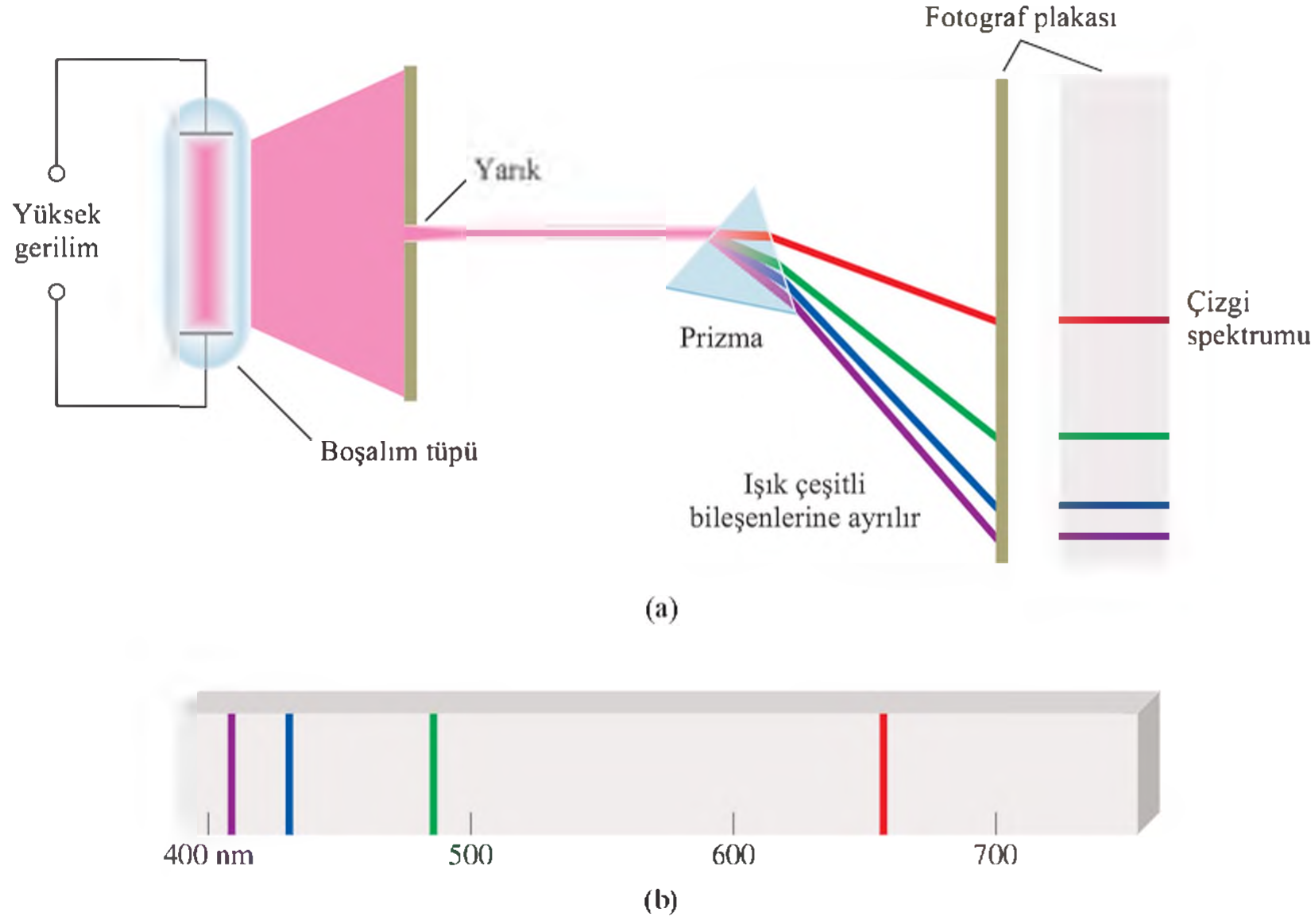
Her elementin kendine özgü bir yayılma spektrumu vardır. Aynen insanların parmak izlerinden tanınması gibi, atom spektrumların kendilerine özgü çizgileri de, bilinmeyen atomların tanıları amacıyla kullanılabilir. Bilinen bir elementin yayılma spektrum çizgileriyle, bilinmeyen bir elementin spektrum çizgileri tam uyum gösterirse, bilinmeyen elementin tanısı gerçekleştirilmiş olur. Tanı amaçlı spektrum kıyaslama yöntemi uzun yıllardan beri kullanılmasına karşın, spektrum çizgilerinin oluşma nedenleri 19. yüzyıl başlarına kadar anlaşılamamıştır. Şekil 7.8, bazı elementlerin yayılma spektrumlarını göstermektedir.

Hidrojen Atomunun Yayılma Spektrumu

1913'de Planck ve Einstein'ın buluşlarından kısa bir süre sonra, Danimarkalı fizikçi Niels Bohr¹ hidrojen atomunun yayılma spektrumuna yönelik kuramsal bir açıklama yapmıştır. Bohr, günümüzde bazı ayrıntıları tam doğru kabul edilmeyen karmaşık bir model sunmuştur. Bu bakımdan Bohr'un sadece çizgi spektrumunu açıklayan yaklaşımları ve sonuçları üzerinde durulacaktır.

Bohr'un bu çalışmalarından önce, fizikçiler atomların elektron ve protonlardan oluştuğunu zaten bilmekteydiler. Atomları, çekirdek etrafındaki dairesel yörüngelerde hızla dönen elektronlarla çevrili cisimler olarak tasarladılar. Güneşin etrafında gezegenlerin hareketlerini andıran bu model, kolayca kabul gördü. Örneğin, hidrojen atomunun pozitif protonu (güneş gibi) ile negatif elektronu (gezegen gibi) arasındaki elektrostatik çekim, elektronu içe doğru çekmekte ve bu kuvvet dairesel hareket halindeki elektronun dışa doğru olan ivmesi tarafından dengelenmekteydi.

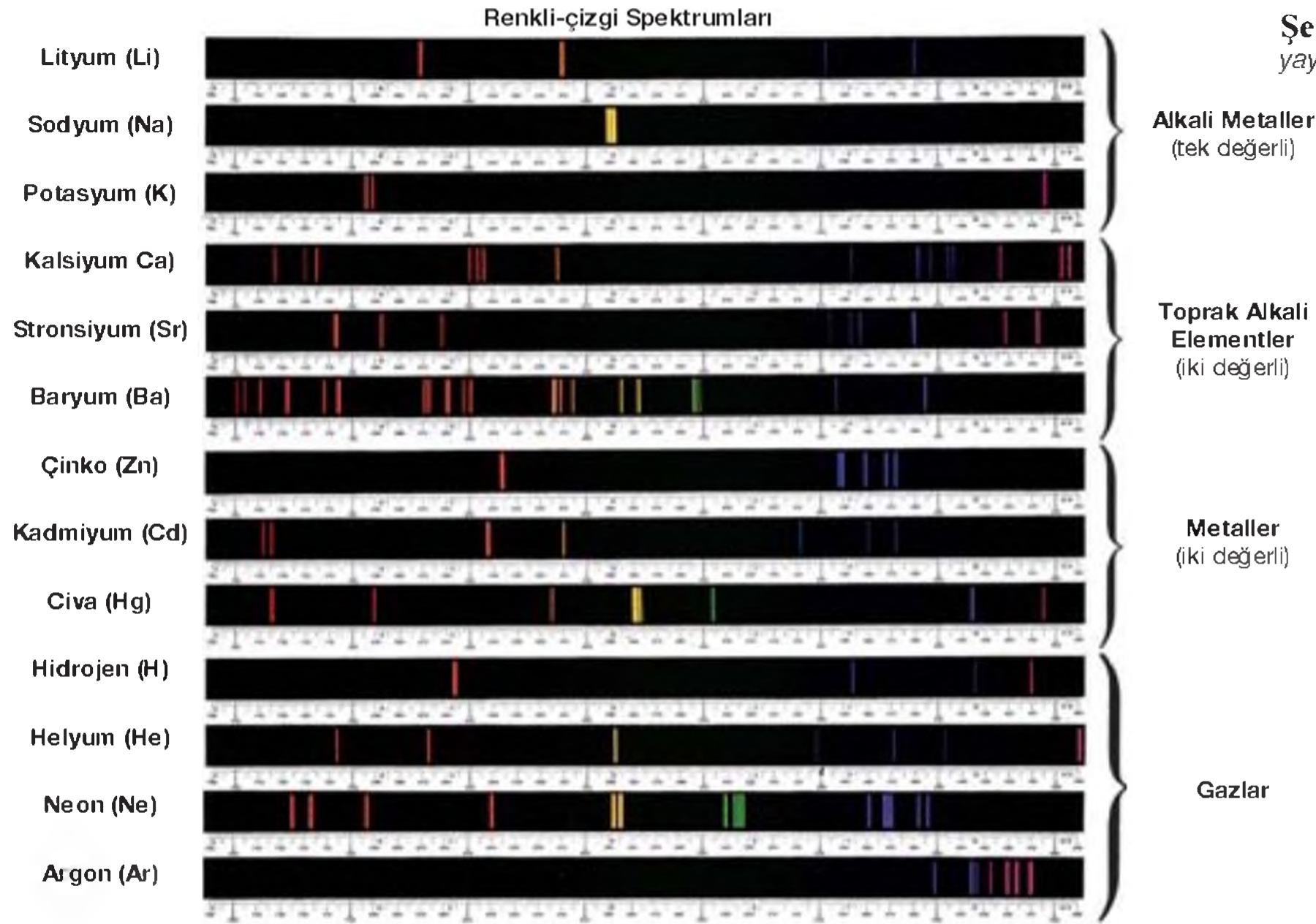
¹Niels Henrik David Bohr (1885–1962), Danimarkalı fizikçi. Modern fiziğin kurucularından biridir. Hidrojen atomu spektrumunu açıklayan kuramı ile 1922 yılında Nobel Fizik Ödülü almıştır.



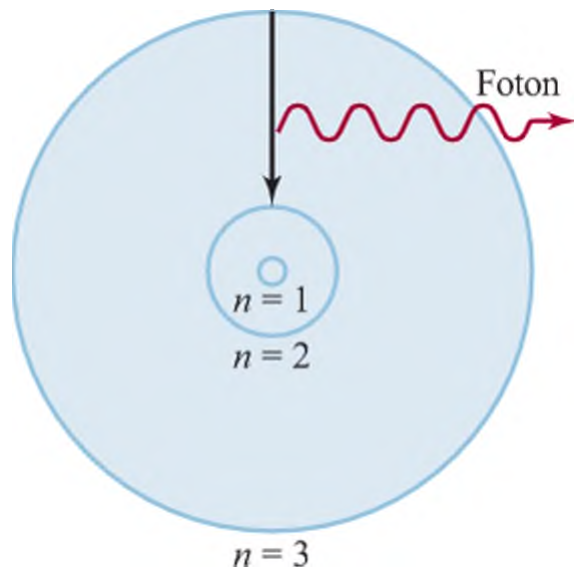
Şekil 7.6 (a) Atom ve moleküllerin yayılma spektrumlarını incelemeye kullanılan deneysel bir düzenek. İncelenen gaz, iki elektrot içeren bir boşalım tüpü içinde yer almaktadır. Negatif elektrottan pozitif elektroda doğru yol alan elektronlar, gazla çarpışırlar. Bu çarpışma süreci atomların (veya moleküllerin) ışık yaymalarına yol açar. Yayılan ışık bir prizma yardımı ile bileşenlerine ayrılır. Her renk bileşeni dalga boyuna göre belirli bir noktada odaklanır ve fotoğraf plakası üstünde yarığın renkli bir görüntüsü oluşur. Bu renkli görüntülere spektrum çizgileri denir. (b) Hidrojen atomunun çizgisel yayılma spektrumu.



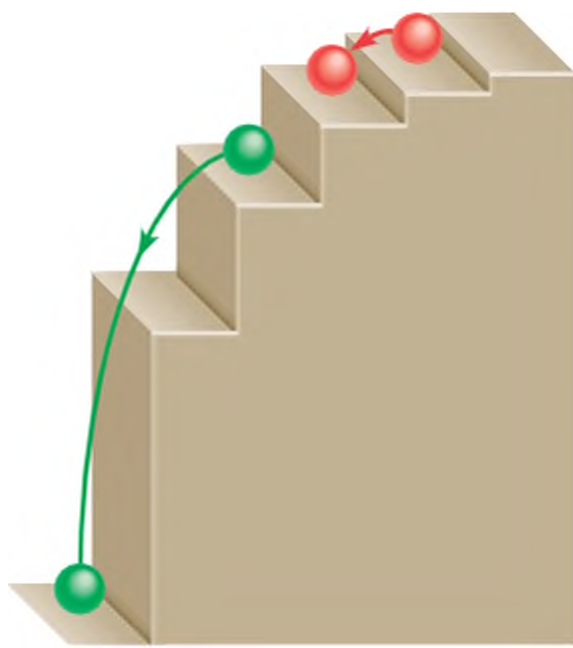
Şekil 7.7 Boşalım tüpünde hidrojen atomu tarafından yayınlanan renkler. Gözlenen bu renkler görünür bölgede yayınlanan renklerin bileşiminden oluşmaktadır.



Şekil 7.8 Çeşitli elementlerin yayılma spektrumları.



Şekil 7.9 Bohr kuramına göre uyarılmış bir hidrojen atomunun yayınlanma süreci. Başlangıçta yüksek enerjili bir yörüngedeki ($n = 3$) elektron, daha düşük enerjili ($n = 2$) yörüngeye iner. Bunun sonucunda ise enerjisi $h\nu$ olan bir foton yayınlanır. Bu yayınlanma sürecinde, iki yörünge arasındaki enerji farkı $h\nu$ değerine eşittir. Kolay anlaşılabilmesi amacıyla, şekilde sadece üç yörünge gösterilmektedir.



Şekil 7.10 Yayılma sürecinin mekaniksel bir benzeri. Top herhangi bir basamakta durabilir ama aradaki bir basamakta durmaz.

Klasik fizik yasalarına göre, hidrojen atomunun yörüngesinde hareket eden bir elektron elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayarak çekirdeği doğru bir ivmesi olacaktır. Bu nedenle, böyle bir elektron sarmal hareket ederek hızla çekirdeğe yaklaşır ve protonla kendini imha etmesi gerekir. Bunun neden gerçekleşmediğini açıklamak için, Bohr, elektronun yalnızca belirli bir enerjiye sahip olan belirli yörüngelerde yer alabileceğini öne sürdü. Diğer bir deyişle, elektronun enerjisi *kuantlaşmıştır*. İzin verilen yörüngelerin herhangi birindeki elektron, çekirdeğin içine dairesel hareketlerle düşmez ve bu nedenle enerji yayamaz. Bohr, enerji yüklenmiş bir hidrojen atomunun ışıma yapmasını, uyarılmış hidrojen atomundaki bir elektronun yüksek enerjili izin verilen bir yörüngeden daha düşük bir yörüngeye düşmesiyle bir kuantum enerjisini (foton) ışık olarak yayınlamasına (Şekil 7.9)bağladı. Bohr, hidrojen atomuna ait bir elektronun sahip olabileceği enerjileri

$$E_n = -R_H \left(\frac{1}{n^2} \right) \quad (7.5)$$

eşitliği ile vermiştir. Formüldeki R_H , Rydberg¹ sabiti olup, değeri $2,18 \times 10^{-18} \text{J}$ 'dür. Baş kuantum sayısı olarak adlandırılan n sayısı, 1, 2, 3, . . . gibi tam sayı değerlerini alabilir.

Eşitlik 7.5'deki eksi işareti kabul gereğidir ve çekirdeğe sonsuz uzaklıktaki *serbest bir elektrona* göre atomdaki elektronun *daha düşük* enerjili olduğunu belirtir. Sonsuz uzaklıktaki serbest elektrona ilişkin enerjinin ise, sıfır olduğu varsayılır. Matematiksel olarak serbest elektronun enerjisinin sıfır olması, Eşitlik (7.5) deki n 'nin sonsuz ve $E_\infty = 0$ olmasını gerektirir. Elektron atom çekirdeğine yaklaştıkça (n azaldıkça) E_n mutlak değer olarak büyür, ancak daha negatif bir değer olur. Buna göre $n = 1$ olduğunda, E_n değeri en büyük eksi değerini alır ve bu durum en kararlı enerji haline karşılık gelir. **Temel hal** ya da **temel seviye** olarak adlandırılan bu durum, *bir sistemin en düşük enerjili halidir* (tartışmamızdaki sistem atomdur). Elektron kararlılığı $n = 2, 3, \dots$ gibi yüksek değerleri aldıkça azalmaktadır. Bu seviyelerden her biri *temel halden daha yüksek enerjili olup, uyarılmış hal* veya *uyarılmış seviye* olarak adlandırılır. Uyarılmış hidrojen elektronu için n birden büyüktür. Bohr modelindeki dairesel yörüngelere ilişkin yarıçaplar n^2 ye bağlıdır. Bu nedenle n 'nin 1'den 2'ye ve 3'e doğru artışı, yörünge yarıçaplarında çok büyük artışlara yol açar. Bir elektronun uyarılma derecesi ne kadar büyükse, çekirdekten uzaklığı da o kadar fazla olur, çekirdek tarafından aynı derecede gevşek tutulur.

Bohr modeli, hidrojen atomu çizgi spektrumunu açıklayabilmemizi sağlar. Atom üzerine gelen enerji soğurulduğunda, elektronun düşük enerjili bir halden (daha küçük n) daha yüksek enerjili bir hale (daha büyük n) uyarılmasına neden olur. Bunun tersi bir işlemde, yani bir elektronun yüksek enerjili halden düşük enerjili hale geçmesinde, foton şeklinde enerji yayınlanır. Elektronun bir enerji halinden diğerine kuantlaşma hareketi, tenis topunun, merdiven basamaklarında aşağı ya da yukarı hareketine benzetilebilir (Şekil 7.10). Top bu basamaklardan herhangi birinde olabilmesine karşın, hiçbir şekilde basamaklar arasında bir yerde olamaz. Alt basamaktan üst basamaklara olan yolculuk enerji gerektiren bir süreçtir. Halbuki üst basamaklardan birinden alt basamaklara doğru olan hareket ise, enerji salan bir süreçtir. Her iki harekete ilişkin enerji miktarı, baş ve son basamaklar arasındaki mesafeye bağlıdır. Benzer şekilde,

¹Johannes Robert Rydberg (1854–1919). İsveçli fizikçi Rydberg'in fiziğe en büyük katkısı, pek çok elementin çizgi spektrumları üzerine yaptığı çalışmalardır.

Bohr atomunda bir elektronun hareketi için gereken enerji, ilk ve son haller arasındaki enerji farkına bağlıdır.

Eşitlik 7.5'i bir hidrojen atomunun emisyon sürecine uygularsak, elektronun ilk uyarılmış enerji seviyesini n_i baş kuantum sayısı ile, yayınlama sonucu geçtiği daha düşük enerji düzeyini ise n_s baş kuantum sayısı ile gösterebiliriz (i ve s indisleri, sırasıyla, ilk ve son halleri belirtir). Söz konusu düşük enerjili hal temel hal ya da nispeten düşük enerjili bir hal olabilmektedir. Başlangıç ve son haller arasındaki enerji farkı aşağıda verilmiştir.

$$\Delta E = E_s - E_i$$

Eşitlik 7.5'e göre,

$$E_f = -R_H \left(\frac{1}{n_s^2} \right)$$

ve

$$E_i = -R_H \left(\frac{1}{n_i^2} \right)$$

Buna göre,

$$\begin{aligned} \Delta E &= \left(\frac{-R_H}{n_s^2} \right) - \left(\frac{-R_H}{n_i^2} \right) \\ &= R_H \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_s^2} \right) \end{aligned}$$

olur. Bu elektronik geçiş, frekansı ν , enerjisi $h\nu$ olan bir fotonun yayınlanmasına neden olduğundan, söz konusu enerji

$$\Delta E = h\nu = R_H \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_s^2} \right) \quad (7.6)$$

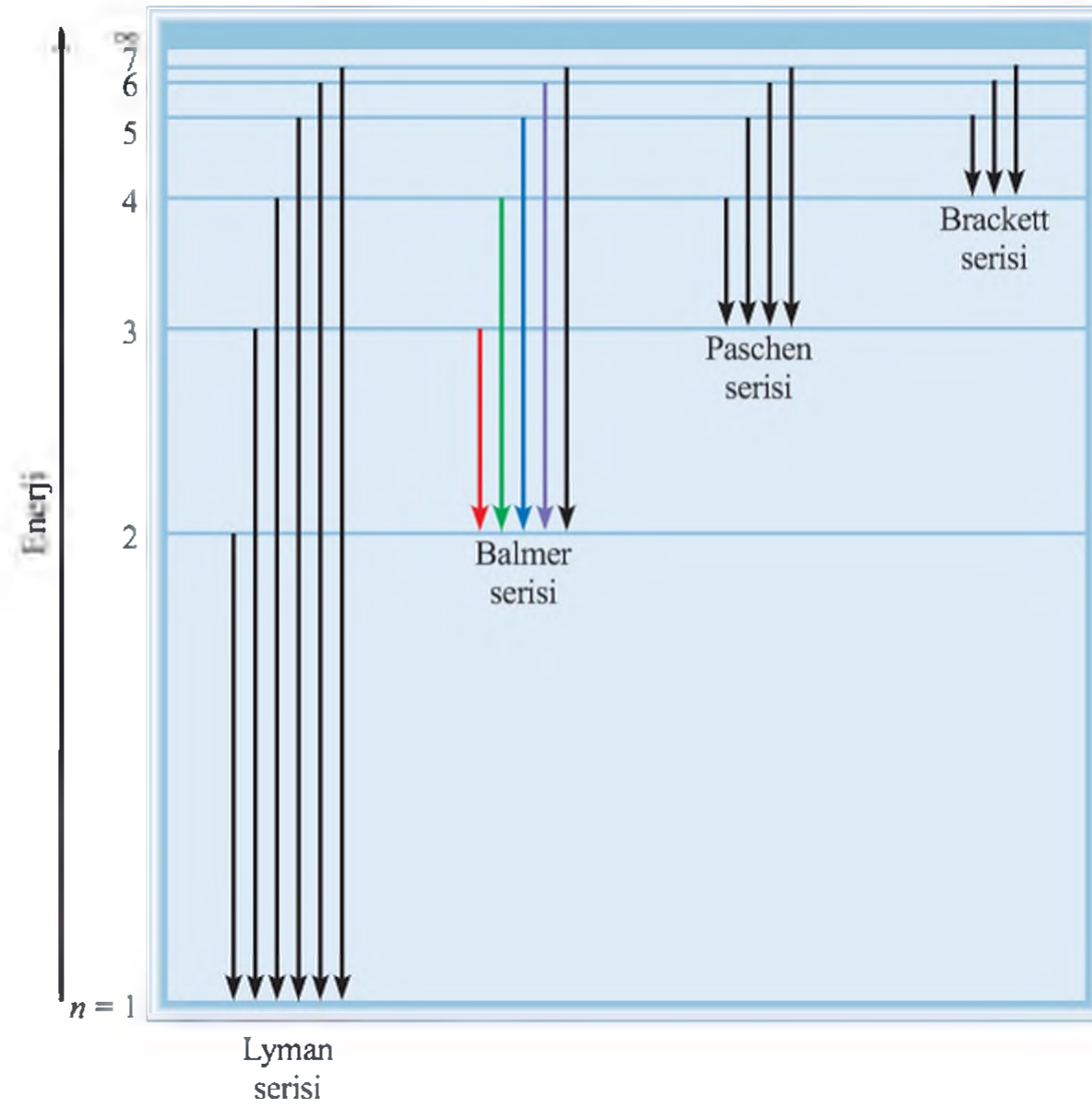
olarak yazılabilir. Bir foton yayımlandığında $n_i > n_s$ 'tir. Bu durumda Eşitlik 7.6'nın parantez içindeki terimleri, dolayısıyla ΔE eksi işaretli olur (çevreye enerji verilmesi nedeniyle). Bunun tam tersine enerji soğurulduğunda, $n_i < n_s$ olacağından; parantez içindeki terimler ve dolayısıyla ΔE pozitif olacaktır. Yayılma spektrumundaki her bir spektrum çizgisi, hidrojen atomunun belirli bir geçişine karşılık gelir. Çok sayıda hidrojen atomu incelendiğinde, tüm olası geçişler ve bu geçişlere karşılık gelen spektrum çizgileri gözlemleriz. Spektrum çizgilerinin parlaklıkları, aynı dalga boyuna sahip fotonların sayısına bağlıdır.

Hidrojen yayılma spektrumunu kırmızı ötesinden mor ötesine kadar geniş bir bölgeyi kapsar. Çizelge 7.1'de hidrojen spektrumuna ait seriler, bunları bulan kişilerin

Çizelge 7.1 Hidrojen Atomunun Yayılma Spektrumundaki Değişik Seriler

Seriler	n_s	n_i	Spektrum Bölgesi
Lyman	1	2, 3, 4, ...	Mor ötesi
Balmer	2	3, 4, 5, ...	Görünür ve mor ötesi
Paschen	3	4, 5, 6, ...	Kızılötesi
Brackett	4	5, 6, 7, ...	Kızılötesi

Şekil 7.11 Hidrojen atomunun enerji seviyeleri ve çeşitli yayılma serileri. Bohr kuramına göre her bir enerji seviyesi bir yörüngenin izin verilen enerji haline karşılık gelmektedir. Yayılma çizgileri Çizelge 7.1'e göre adlandırılmıştır.



adlarıyla sıralanmaktadır. Bu spektrum çizgilerinden Balmer serisinin çizgileri çoğunlukla görünür bölgede yer alır ve incelenmesi kolaydır.

Şekil 7.9. tek bir geçişi göstermektedir. Ancak, Şekil 7.11'den görüldüğü gibi tüm geçişlerin bir arada gösterilmeleri daha bilgilendirici olmaktadır. Şekil 7.11'deki her bir yatay çizgi, hidrojen atomu elektronunun yer alabileceği iznli bir enerji seviyesini göstermektedir. Bu enerji seviyeleri, baş kuantum sayıları ile birlikte belirtilmektedir.

Örnek 7.4, Eşitlik 7.6'nın kullanımını göstermektedir.

Örnek 7.4

Hidrojen atomunda $n_i = 5$ seviyesinden $n_s = 2$ seviyesine geçişte yayınlanan fotonun dalga boyunu nanometre cinsinden hesaplayınız?

İzlenecek Yol Yayılma sürecinin ilk ve son seviyeleri verilmektedir. Yayınlanan fotonun enerjisini, Eşitlik (7.6)'yı kullanarak hesaplayabiliriz. Daha sonra, Eşitlik (7.2) ve (7.1)'den fotonun dalga boyunu bulabiliriz. Rydberg sabitinin değeri, metin içinde verilmiştir.

Çözüm Eşitlik (7.6)'den, şöyle yazabiliriz.

$$\begin{aligned}\Delta E &= R_{H1} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_s^2} \right) \\ &= 2,18 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2} \right) \\ &= -4,58 \times 10^{-19} \text{ J}\end{aligned}$$

(Devamı)

Negatif işaret, bu enerjinin bir yayılma sürecine ilişkin olduğunu göstermektedir. Ancak, foton dalga boyları pozitif olması gerektiğinden, dalga boyu hesaplarken ΔE 'nin eksi işareti kullanılmaz. $\Delta E = h\nu$ veya $\nu = \Delta E/h$ olduğundan, fotonun dalga boyunu şöyle hesaplayabiliriz.

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{c}{\nu} \\ &= \frac{ch}{\Delta E} \\ &= \frac{(3,00 \times 10^8 \text{ m/s})(6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})}{4,58 \times 10^{-19} \text{ J}} \\ &= 4,34 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 4,34 \times 10^{-7} \text{ m} \times \left(\frac{1 \text{ nm}}{1 \times 10^{-9} \text{ m}} \right) = 434 \text{ nm}\end{aligned}$$

Kontrol Hesaplanan dalga boyu elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yer almaktadır (Şekil 7.4'e bakınız). $n_s = 2$ olduğundan, bu geçişin Balmer serisinde belirli bir spektrum çizgisini vermesi beklenen bir durumdur (Şekil 7.6'ya bakınız).

Alıştırma Hidrojen atomunda $n_i = 6$ 'dan $n_s = 4$ 'e geçişte yayımlanan fotonun dalga boyu nanometre cinsinden ne olmalıdır?

Çevreye verilen enerji, tanım gereği eksi işaretiyle gösterilmektedir.

Benzer problemler: 7.31, 7.32.

Kavramların Değerlendirilmesi

Hidrojen atomunun hangi geçişi, daha kısa dalga boylu ışık yayar?

(a) $n_i = 5 \longrightarrow n_s = 3$ veya (b) $n_i = 4 \longrightarrow n_s = 2$.

Sayfa 290'da "Kimya İşbaşında" kısmında atom yayılma spektroskopinin özel bir türü olan lazerler tartışılmıştır.

7.4 Elektronun İkili Doğası

Fizikçiler Bohr kuramını hem büyük bir şaşkınlıkla karşıladılar, hem de büyük bir ilgi duydular. Hidrojen elektronuna ilişkin enerjilerin neden kuantlaştığını sorguladılar. Başka bir deyişle, Bohr atom modeline göre, neden elektronun bulunması çekirdek etrafında sadece belirli uzaklıklardaki yörüngelerle kısıtlanmıştı? On yıllık bir süre içinde bu soruya Bohr'un kendisi de dahil olmak üzere kimse, mantıklı bir açıklama getiremedi. Ancak 1924 yılında Fransız fizikçisi Louis de Broglie¹, bu bulmacaya bir çözüm getirdi. De Broglie ışık dalgalarının parçacık seli (fotonlar) gibi davranabilmesinden yola çıkarak: elektron gibi parçacıkların da dalga özelliği gösterebileceğini öne sürdü. de Broglie'ye göre çekirdeğe bağlı durumdaki bir elektron, *duran bir dalga* gibi davranmaktadır. Örneğin, duran dalgalar gitar teli gibi gergin bir telin çekilmesi ile oluşturulabilir (Şekil 7.12). Bu dalgalar tel boyunca hareket etmezler ve bu nedenle duran dalga ya da sabit dalga olarak adlandırılırlar. Titreşen tel üzerinde *düğüm* ola-

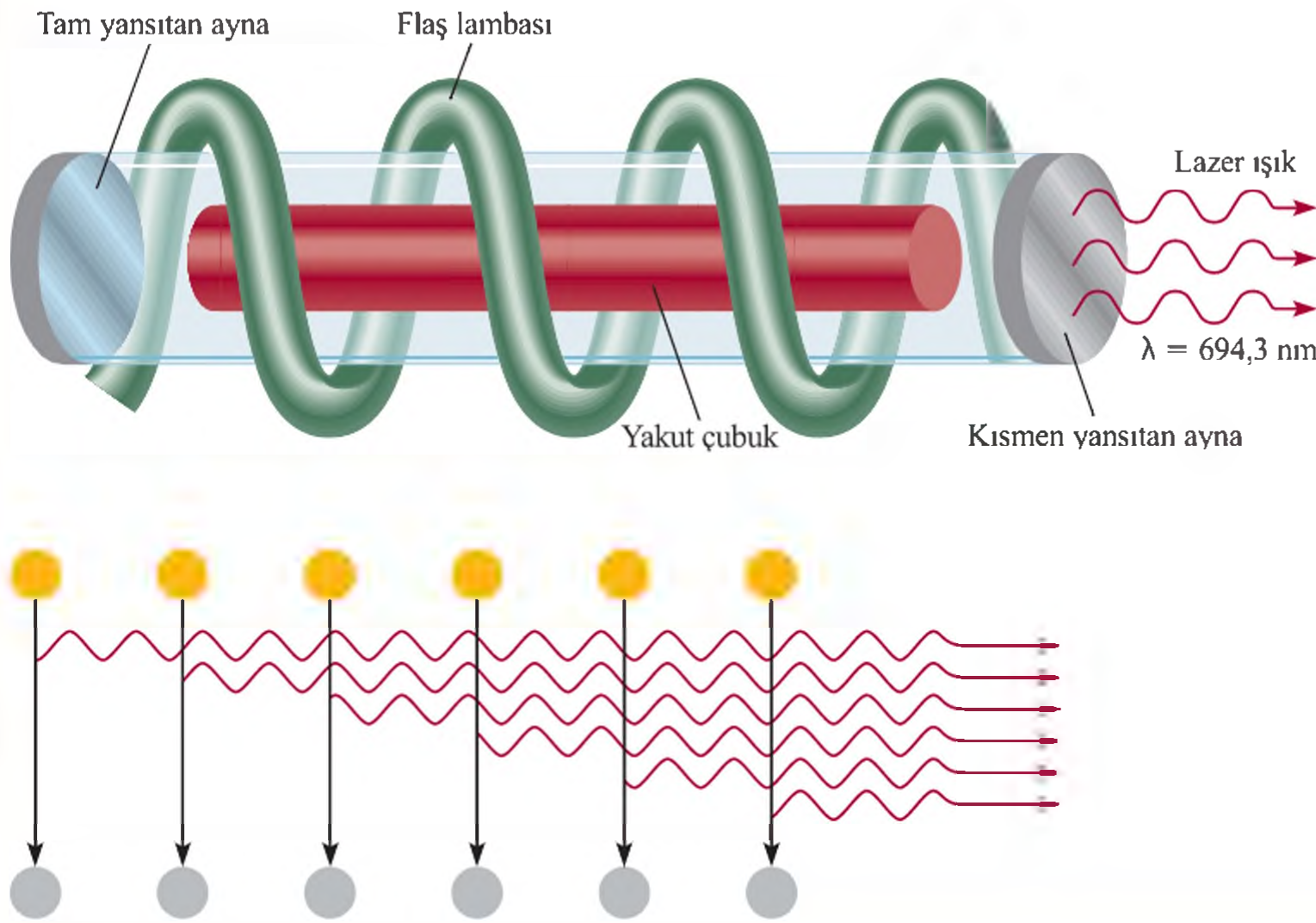
¹Louis Victor Pierre Raymond Duc de Broglie (1892–1977). Fransız fizikçi, Fransa'da eski ve soylu bir ailenin üyesidir ve prens unvanına sahiptir. Doktora tezinde, madde ve ışığın hem dalga hem de tanecik özelliklerine sahip olduğunu açıklamıştır. Bu çalışmayla, de Broglie 1929 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.

Lazer – Görkemli Işık

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” kelimelerinin kısaltılması (LASER) olan Lazer, uyarılmış ışına ile ışığın güçlendirilmesi anlamına gelir. Lazer, atomların ya da moleküllerin yayılma spektrumunun özel bir türüdür. Lazerin 1960 yılında keşfedilmesinden sonra, gaz, sıvı ve katı hallerde çalışmak için tasarlanmış pek çok sayıdaki sistemde

kullanılmaktadır. Bu sistemler, kızılötesinden görüntür ve ultraviyoleye değişen dalga boyları ile ışık yayarlar. Lazerin keşfi, bilim, tıp ve teknoloji alanlarında gerçekten devrim yaratmıştır.

Yakut lazer, bilinen ilk lazerdir. Yakut, Al^{3+} iyonlarının bir kısmının Cr^{3+} iyonları ile yer değiştirdiği Al_2O_3 içeren koyu kırmızı renkli bir mineraldir. Krom atomlarını daha yüksek enerji

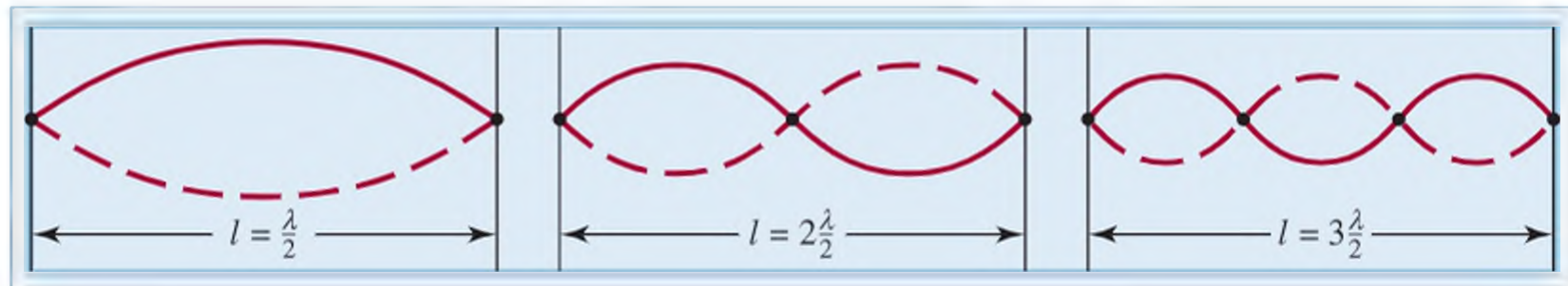


Yakut lazerden lazer ışığının yayılması

Lazer ışık yayılmasına neden olan ardışık bir olayda, bir fotonun başka foton ile uyarılması. Işık dalgalarının senkronizasyonu, son derece delici lazer ışını verir.

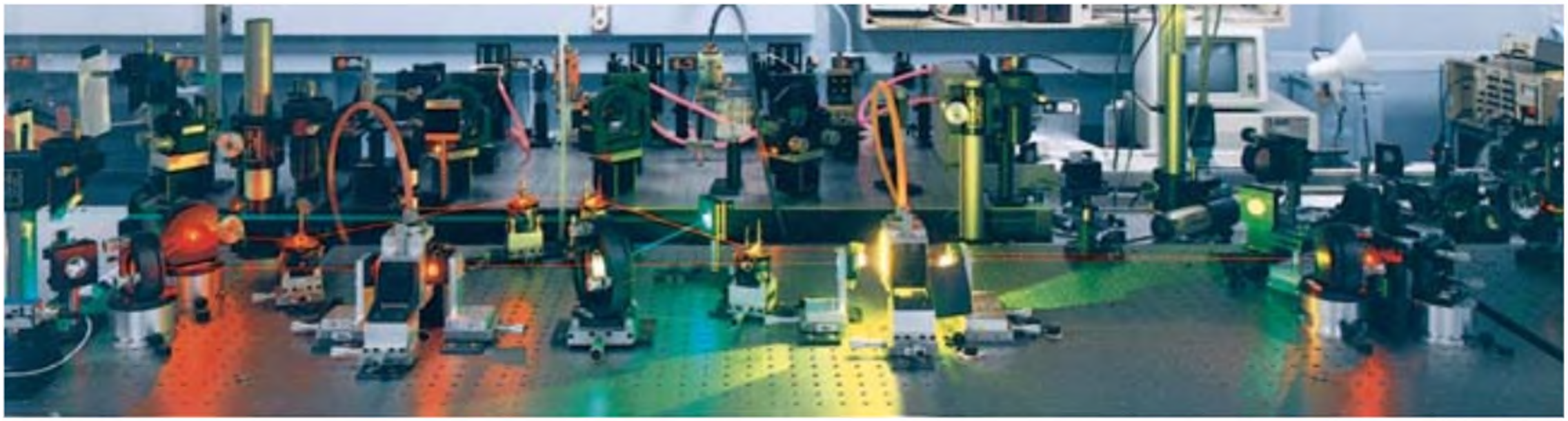
rak adlandırılan bazı noktalar ise bütünüyle hareketsizdir ve bu noktalardaki dalga genliği daima sıfırdır. Telin her iki ucunda birer düğüm bulunmalıdır. Ancak uçlar arasında da düğüm bulunabilir. Titreşim frekansı ne kadar büyükse, durgun dalgaya ilişkin dalga boyu o denli kısa ve düğüm sayısı da fazla olacaktır. Şekil 7.12’de görüldüğü gibi, her bir titreşime karşılık gelen belirli dalga boyları vardır.

Şekil 7.12 Bir gitar telinin çekilmesiyle oluşturulan durgun dalga. Her nokta bir düğümü göstermektedir. Tel uzunluğu (l), dalga boyunun yarısı ($\lambda/2$) ile bir tamsayının çarpımına eşit olmalıdır.



düzeyine uyarınmak için flaş lamba kullanılır. Uyarılmış atomlar kararsızdır. bu nedenle bazıları. hızlı bir şekilde spektrumun kırmızı bölgesinde foton yayarak temel hallerine dönerler. Foton. lazer tüpün zıt uçlarında bulunan aynalar arasında birçok kez ileri ve geri sıçrar. Bu foton. diğer uyarılmış krom atomlarıyla aynı dalga boyundaki fotonları uyarabilir: bu fotonlar da, daha fazla fotonu uyarabilir ve bu şekilde devam eder. Işık dalgaları eş fazlı olduğu için, (yani maksimum ve minimumları aynı) fotonlar aynalar arasındaki her geçişlerinde güçlerini artırarak, birbirlerini güçlendirirler. Aynalardan biri. kısmi yansıtma yapar, böylece ışık belirli bir yoğunluğa ulaştığında bir lazer ışını olarak aynadan çıkar. Çalışma moduna bağlı olarak, lazer ışık kesikli (yakut lazer örneğinde olduğu gibi) ya da sürekli dalgalar halinde yayılabilir.

Lazer ışığı, üç özellik ile tanımlanabilir: yoğunluğu, tam olarak bilinen dalga boyu (dolayısıyla enerjisi) ve eş fazlılığı. *Eş fazlılık* ile anlatılmak istenen, ışık dalgalarının bütünüünün aynı fazda olmasıdır. Lazerlerin uygulama alanları, oldukça fazladır. Yüksek yoğunluklu olmaları ve odaklanabilmeleri nedeniyle göz ameliyatı yapmak için, metal ve kaynaklarda delik açmak için ve nükleer füzyonun yürütülmesi için lazerler kullanılabilmektedir. Son derece yönlendirilebilir ve dalga boyları kesin olarak bilindiği için telekomünikasyonda oldukça kullanışlıdır. Lazerler, izotopların ayrıştırılmasında, holografide (üç boyutlu fotoğraf), kompakt disk çalarlarda ve süpermarketlerdeki okuyucularda yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, moleküler özelliklerin ve birçok kimyasal ve biyolojik sürecin spektroskopik olarak incelenmesinde lazerler önemli rol oynarlar.



Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde Dr. A.H. Zewail'in araştırma laboratuvarında kullanılan modern lazerler.

De Broglie'nin görüşüne göre, hidrojen atomundaki elektronun durgun bir dalga gibi davranabilmesi için, dalga boyunun yörünge çevresine tam uyması gerekir (Şekil 7.13). Aksi takdirde her tam dönme sonrası dalganın kısmen kendisini yok etmesi ve sonuçta dalga genliği sıfıra ulaşarak, dalganın ortadan kalkması durumu ortaya çıkacaktır.

İzin verilen yörünge çevresi ($2\pi r$) ile elektronun dalga boyu (λ) arasındaki ilişki,

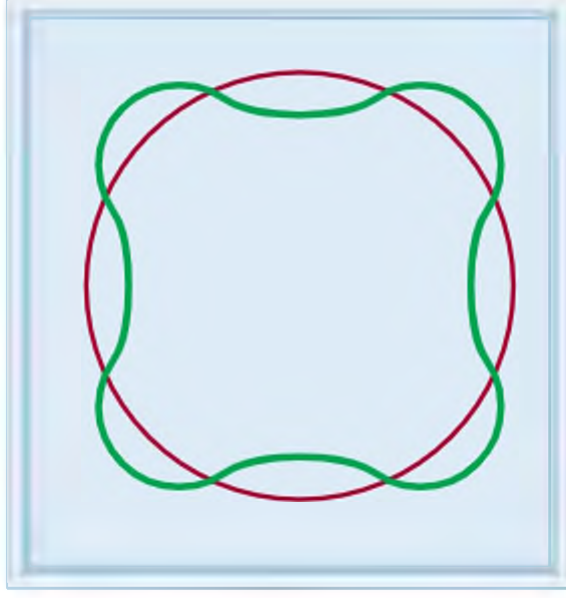
$$2\pi r = n\lambda \quad (7.7)$$

olarak yazılır. Burada r yörünge yarıçapı, λ elektron dalgasına ilişkin dalga boyu ve $n = 1, 2, 3, \dots$ dir. n bir tamsayı olduğundan, 1 den 2'ye ve 3'e vs. yükselmesiyle, r sadece belirli değerleri olabilecektir. Elektron enerjisi yörünge büyüklüğüne (veya yarıçap değerine) bağlı olduğundan enerjisinin kuantlaşmış olması gerekecektir.

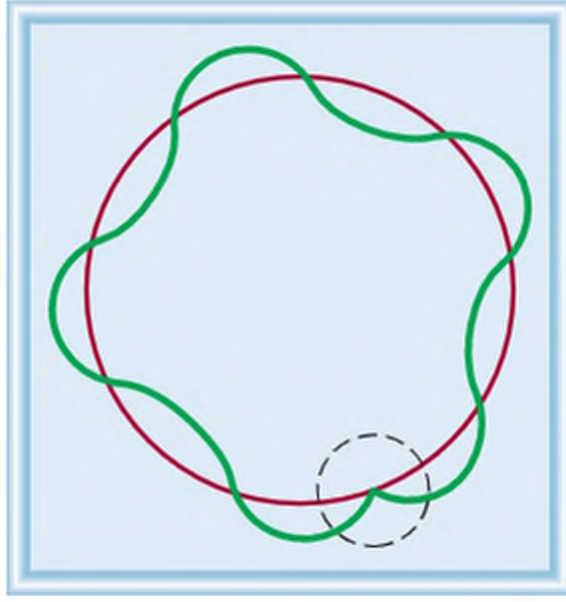
De Broglie'nin bulgularıyla, dalgaların tanecik, taneciklerin de dalga benzeri özellikler sergileyebilecekleri öne sürüldü. Sonuçta De Broglie, tanecik ve dalga özelliklerinin aşağıda verilen eşitlikteki gibi bir araya getirilebileceği sonucuna varmıştır.

Eşitlik (7.8) kullanıldığında, m , kilogram ve u , m/s biriminde olması gerekir.

$$\lambda = \frac{h}{mu} \quad (7.8)$$



(a)



(b)

Şekil 7.13 (a) Bir yörüngenin çevresi dalga boylarının tam katıdır. Bu izin verilen bir yörüngedir. (b) Yörüngenin çevresi, dalga boylarının tam katı değildir. Sonuç olarak elektron dalgası kendini tekrarlayamaz. Bu, yasaklı bir yörüngedir.

Berzer problemler: 7.40, 7.41.

Burada λ , m ve u sırasıyla hareketli bir taneciğe ilişkin dalga boyunu, kütleyi ve hızı belirtmektedir. Eşitlik (7.8), hareket halindeki bir taneciğin dalga gibi tasarlanabileceğini, dalganın da tanecik özelliği gösterebileceğini ifade etmektedir. Bu eşitliğin sol kısmının bir dalga özelliği olan dalga boyunu, sağ kısmının ise bir tanecik özelliği olan kütleyi içerdiğine dikkat ediniz.

Örnek 7.5

Verilen şu iki durum için “taneciğin” dalga boyunu hesaplayınız: (a) Teniste en hızlı servis atışı yaklaşık 68 m/s’dir. Kütlesi 6.0×10^{-2} kg olan ve verilen hızla seyreden tenis topuna ilişkin dalga boyunu hesaplayınız. (b) Hareket hızı 68 m/s olan elektronun (9.1094×10^{-31} kg) dalga boyunu hesaplayınız.

İzlenecek Yol Hem (a)’da hem de (b)’de taneciklere ilişkin hareket hızları ve kütleleri verilmekte ve dalga boylarının hesaplanması istenmektedir. Bu durumda Eşitlik (7.8)’in kullanılması gereklidir. Planck sabitinin birimi J s olduğundan; kütle (m) ve hız (u) sırasıyla kg ve m/s cinsinden alınmalıdır ($1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$).

Çözüm (a) Eşitlik (7.8) kullanılırsa;

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h}{mu} \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{(6.0 \times 10^{-2} \text{ kg}) \times 68 \text{ m/s}} \\ &= 1.6 \times 10^{-34} \text{ m} \end{aligned}$$

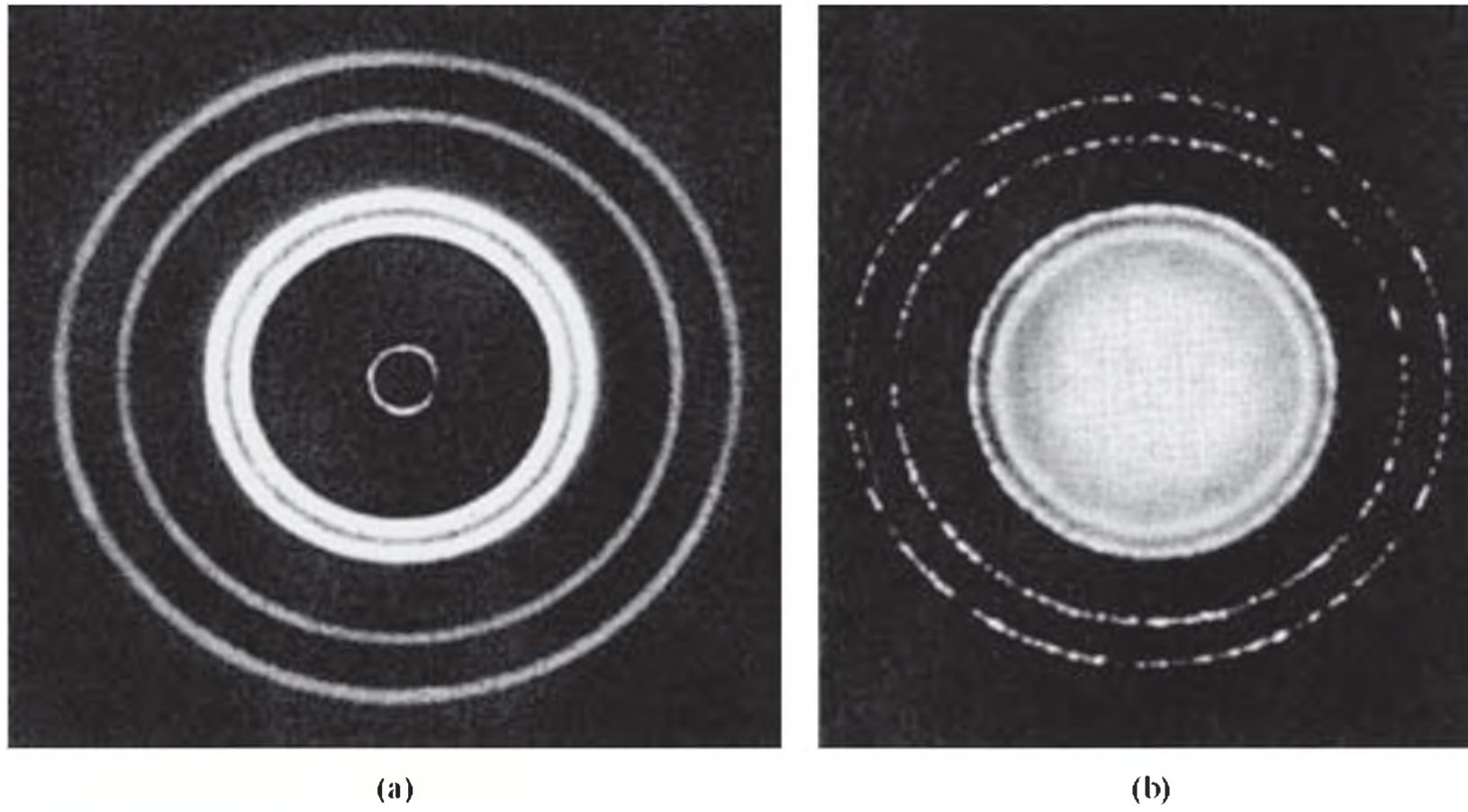
Yorum Bir atomun yaklaşık 1×10^{-10} m çapında olduğu düşünüldüğünde, bu dalga boyunun son derece küçük olduğu anlaşılır. Bu nedenle, bir tenis topunun dalga özelliği günümüzdeki cihazların hiçbirisiyle tespit edilemez.

(b) Elektronun dalga boyu için,

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h}{mu} \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{(9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times 68 \text{ m/s}} \\ &= 1.1 \times 10^{-5} \text{ m} \end{aligned}$$

Yorum Hesaplanan bu dalga boyu (1.1×10^{-5} m ya da 1.1×10^4 nm) elektromanyetik spektrumunun kızılötesi bölgesindedir. Bu hesaplama sadece elektronların ya da diğer mikroskobik taneciklerin ölçülebilir dalga boyuna sahip olduklarını göstermektedir.

Alıştırma 7.00×10^2 cm/s hızla hareket eden bir H atomunun (kütle = 1.674×10^{-27} kg) dalga boyunu nanometre cinsinden hesaplayınız.



Şekil 7.14 (a) İnce bir alüminyum tabakasının X-ışınları kırınımı görüntüsü. (b) İnce bir alüminyum tabakasının elektron kırınımı görüntüsü. İkisi arasındaki benzerlikler, elektronların da tıpkı X-ışınları gibi dalga özelliklerini sergilediklerini göstermektedir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Eşitlik 7.8’deki hangi büyüklük makroskopik nesnelerin gözlemlenebilir dalga özellikleri göstermemesi gerçeğinden sorumludur?

Örnek 7.5, Broglie eşitliğinin çeşitli sistemlere uygulanabileceğini, ancak dalga özelliklerinin sadece mikroskopik tanecikler için gözlemlenebileceğini açıklamaktadır.

De Broglie eşitliğinin ortaya konulmasından kısa bir süre sonra, Birleşik Devletlerden Clinton Davisson¹ ve Lester Germer¹ ile İngiltere’den G.P. Thomson², elektronların gerçekten de dalga özelliklerine sahip olduklarını kanıtlamışlardır. Thomson, ince bir altın tabaka üzerine bir elektron demeti yönlendirdiğinde, X-ışınlarıyla (gerçek dalga) elde edilene benzer, iç içe halkalardan oluşan bir görüntü elde etti. Şekil 7.14’de alüminyum için elde edilen benzer görüntüler verilmektedir.

Sayfa 294’de “Kimya İşbaşında” adı okuma parçasında elektron mikroskobu açıklanmıştır.

7.5 Kuantum Mekaniği

Bohr kuramının görkemli başarısını bu dizi hayal kırıklığı izledi. Bohr yaklaşımı ile helyum ve lityum gibi birden fazla elektron içeren atomların yayılma spektrumları açıklanamıyordu. Aynı şekilde, manyetik bir alan uygulanması sonunda hidrojen spektrumunda ortaya çıkan yeni çizgiler de açıklanamıyordu. Ayrıca elektronların dalga özelliklerinin keşfi, bir dalganın konumunu belirleme problemini de beraberinde getirmişti. Dalganın uzayda yayılması, konumunun tam olarak belirlenememesi sorunu ortaya çıkarmıştı.

Gerçekte, Bohr kuramı hidrojende olduğu gibi He^+ ve Li^{2+} iyonları için gözlenen yayılma spektrumlarını da açıkladı. Her birinin bir elektron içermesi üç türün ortak özelliğidir. Bohr modeli sadece hidrojen atomu ve “hidrojen benzeri iyonlar” için başarılı olmuştur.

¹Clinton Joseph Davisson (1881–1958). Amerikalı fizikçi. Elektronların dalga özellikleriyle ilgili çalışmalarıyla 1937 yılında Nobel Fizik Ödülü’nü G.P. Thomson ile paylaştı.

¹Lester Halbert Germer (1896–1972). Amerikalı fizikçi. Elektronların dalga özelliklerini (Davisson ile) açıklamıştır.

²George Paget Thomson (1892–1975). İngiliz fizikçi. J.J. Thomson’un oğludur. Clinton Davisson ile elektronların dalga özelliklerini açıklayan çalışmalarıyla 1937 yılında Nobel Fizik Ödülü’nü almıştır.

Elektron Mikroskobu

Elektron mikroskobu, cisimlerin çıplak gözle ya da ışık mikroskobu ile görülemeyen görüntülerini verdiğinden, elektronların dalga benzeri özelliklerini açıklayan son derece önemli bir uygulamadır. Optik yasalara göre, gözlem için kullanılan ışığın dalga boyunun yarısından daha küçük bir nesnenin görüntüsünü oluşturmak mümkün değildir. Görüntür ışığın dalga boyu aralığı, 400 nm ya da 4×10^{-5} cm'den başlar ve biz 2×10^{-5} cm'den daha küçük hiçbir şeyi göremeyiz. Prensip olarak, dalga boyu yaklaşık 0.01 nm – 10 nm aralığındaki X ışınlarını kullanarak atom ve moleküler ölçekte nesneleri görebiliriz. Ancak, X ışınları odaklanamaz, bu nedenle de çok iyi biçimlenmiş görüntüler veremezler. Diğer yandan elektronlar, yüklü parçacıklardır. Bu parçacıklar, TV ekranındaki görüntünün odaklandığı şekilde, yani bir elektrik alan ya da bir manyetik alan uygulanarak odaklanmaları sağlanabilir. Eşitlik 7.8'e göre, bir elektronun dalga boyu, hızı ile ters orantılıdır. Elektronları, çok büyük hız değerlerine hızlandırarak 0.004 nm kadar kısa dalga boyları elde edebiliriz.

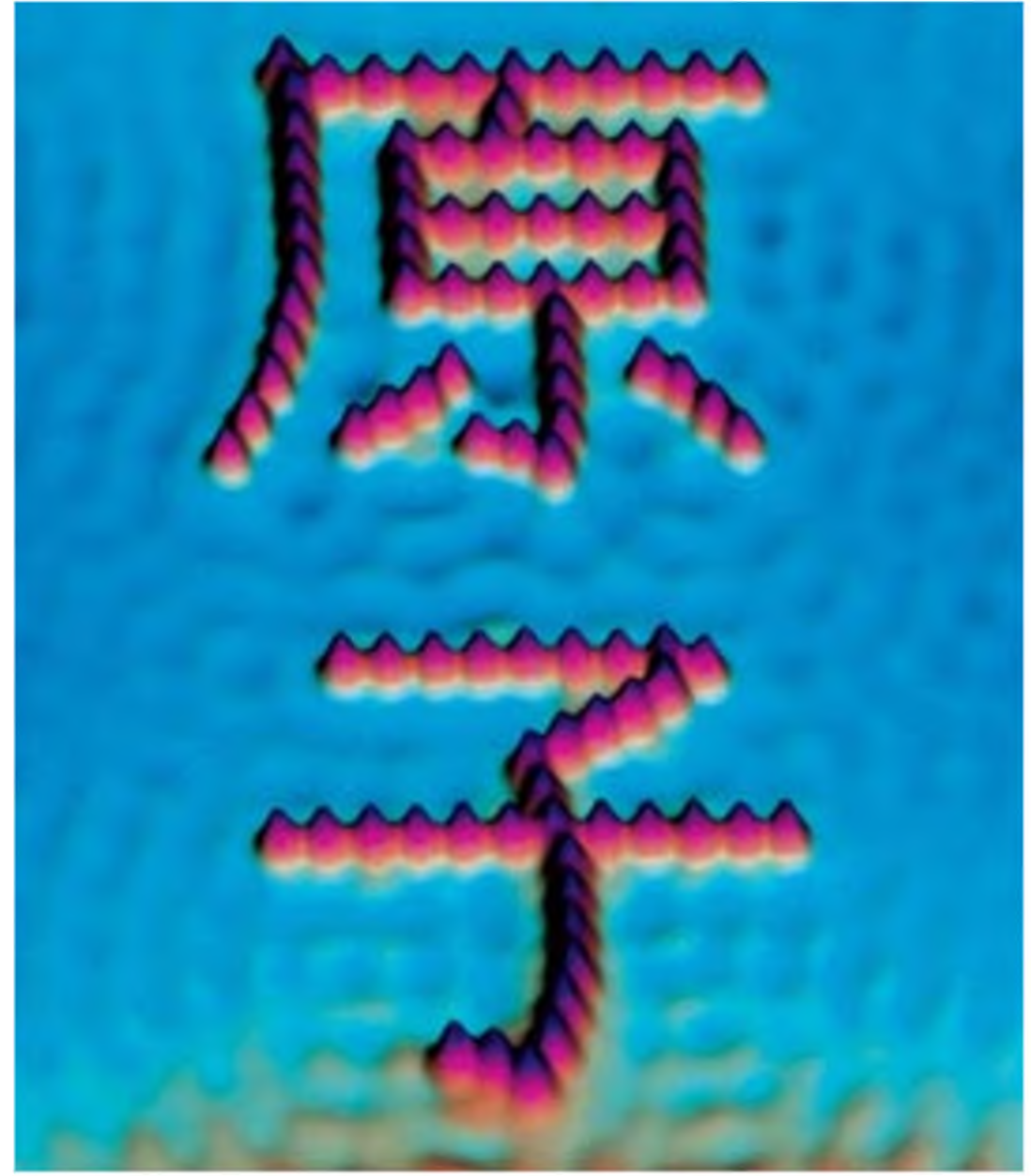
Elektron mikroskobunun farklı bir türü, *taramalı tünelleme mikroskobu (STM)* olarak adlandırılır ve numunenin yüzeyindeki atomların görüntüsünü elde etmek için elektronun diğer



Aynı kişiye ait normal kırmızı kan hücresi ve orak kırmızı kan hücresinin elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüleri.

bir kuantum mekanik özelliğini kullanır. Elektron oldukça küçük bir kütleye sahip olduğu için bir enerji engeline (tizerinden gitmek yerine) hareket edebilir ya da “*tünelleme*” yapabilir. STM, tünelleme yapan elektron kaynağı olarak çok ince uçlu tungsten metal bir iğneden oluşur. Numune yüzeyi içinde tünelleme yapmak için, elektronları uyaran iğne ve numunenin yüzeyi arasındaki voltaj, sabitlenir. İğne, örnek tizerindeki yüzeyden birkaç atom çapı mesafede hareket ettikçe tünelleme akımı ölçülür. Bu akımı, artan mesafe ile azalır. Geri besleme döngüsü kullanarak, ucun dikey konumu yüzeyden sabit bir mesafeye ayarlanabilir. Bu ayarlamaların ölçüsü olarak numune profili, görüntü renklendirilerek üç boyutlu olarak kaydedilir.

Hem elektron mikroskobu hemde STM, kimyasal ve biyolojik araştırmalarda kullanılan en güçlü araçlar arasında yer alır.



Demir atomlarının taramalı tünelleme mikroskopuyla (STM) elde edilen görüntüsü. Bakır yüzeyindeki atomların Çince karakterlere benzer bir düzende bulunduğu görülmektedir.

Bir dalga gibi davranabilen, atom boyutunda taneciklerin konumunun belirlenmesine yönelik olarak, Werner Heisenberg¹ kendi adı ile anılan ünlü **Heisenberg belirsizlik ilkesini** ortaya attı. Buna göre, *bir taneciğe ilişkin hem konum hem de momentum (kütle \times hız) aynı anda tam olarak bilinemez*. Heisenberg belirsizlik ilkesinin matematiksel olarak gösterimi şöyledir:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \quad (7.9)$$

\geq işareti, $\Delta x \Delta p$ çarpımının $h/4\pi$ 'den daha büyük ya da eşit olması anlamına gelir, ancak $h/4\pi$ 'den asla küçük olamaz. Ayrıca, Eşitlik (7.9) kullanıldığında, m , kilogram ve u , m/s biriminde olması gerekir.

Bu eşitlikte Δx ve Δp , sırasıyla taneciğin konum ve momentum ölçümündeki belirsizliklerdir. \geq işaretlerinin anlamı şöyledir: Ölçülen konum ve momentumun belirsizlikleri büyükse (kaba bir deneyde), bunların çarpımları $h/4\pi$ 'den çok daha büyük olabilir (bunun için $>$ işareti vardır). Eşitlik 7.9'un bir diğer açıklaması ise, konum ve momentumun en uygun koşullarda ölçümünde dahi, belirsizliklerin çarpımının asla $h/4\pi$ 'den daha küçük olamayacağıdır (bunun için $=$ işareti vardır). Buna göre, bir taneciğin momentumunun *az hatalı* ölçülmesi demek (yani Δp *küçük*), o taneciğin konumunun daha *çok hatalı* bilinmesi (yani Δx *büyük*) demektir. Başka bir deyişle, bir taneciğin konumu ne kadar doğru olarak biliniyorsa, momentum ölçümünde buna göre o derece daha az doğru olmalıdır.

Hidrojen atomuna Heisenberg belirsizlik ilkesini uygularsak, elektronun Bohr'un sandığı gibi çekirdek yörüngesinde çok iyi tanımlanmış bir yörüngede dönmediğini gösteririz. Eğer öyle olsaydı, elektronun hem konumunu (belli yörüngeden) hem de momentumunu (kinetik enerjisinden) aynı anda kesin olarak belirleyebilirdik. Böyle bir durum belirsizlik ilkesinin ihlali olurdu.

Örnek 7.6

(a) Bir elektron $8,0 \times 10^6$ m/s hızla hareket etmektedir. Hız ölçümündeki belirsizlik, hızın yüzde 1,0'i ise, elektronun konumundaki belirsizliği hesaplayınız. Elektronun kütlesi $9,1094 \times 10^{-31}$ kg. (b) 100 mil/saat hızla fırlatılan ve kütlesi 0,15 kg olan bir beyzbol topunun momentumu 6,7 kg m/s'dir. Momentum ölçümündeki belirsizlik, momentumun $\frac{1}{1,0 \times 10^{-7}}$ 'si ise beyzbol topunun konumundaki belirsizliği hesaplayınız.

İzlenecek Yol (a) ve (b)'nin her ikisindeki *minimum* belirsizliği hesaplamak için Eşitlik (7.9)'daki eşit işareti kullanılır.

Çözüm (a) Elektronun hızındaki u belirsizliği şöyledir:

$$\begin{aligned} \Delta u &= 0,010 \times 8,0 \times 10^6 \text{ m/s} \\ &= 8,0 \times 10^4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Momentum (p), $p = mu$ olduğundan momentumdaki belirsizlik şöyledir:

$$\begin{aligned} \Delta p &= m \Delta u \\ &= 9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 8,0 \times 10^4 \text{ m/s} \\ &= 7,3 \times 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

(Devamı)

¹Werner Karl Heisenberg (1901–1976). Alman fizikçi. Modern kuantum kuramının kurucularından biridir. Heisenberg, 1932 yılında Nobel Fizik Ödülünü almıştır.

Eşitlik (7.9)'dan, elektronun konumundaki belirsizliği şöyledir:

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{h}{4\pi\Delta p} \\ &= \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{4\pi(7,3 \times 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m/s})} \\ &= 7,2 \times 10^{-10} \text{ m}\end{aligned}$$

Bu belirsizlik, yaklaşık 4 atom çapına karşılık gelir.

(b) Beyzbol topunun konumundaki belirsizliği şöyledir:

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{h}{4\pi\Delta p} \\ &= \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{4\pi \times 1,0 \times 10^7 \times 6,7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}} \\ &= 7,9 \times 10^{-29} \text{ m}\end{aligned}$$

Bu hiçbir değeri olmayan oldukça küçük bir sayıdır; yani, pratik olarak makroskopik düzeyde beyzbol topunun yerini belirlemede belirsizlik yoktur.

Benzer problemler: 7.128, 7.146.

Alıştırma Oksijen molekülünün konumundaki belirsizliğin ± 3 nm olduğu bilinmektedir. Oksijen molekülünün hızındaki belirsizliği hesaplayınız. Oksijen molekülünün kütlesi, $5,31 \times 10^{-26}$ kg'dır.

Hiç kuşkusuz Bohr, atomların anlaşılmasına büyük katkılarda bulunmuş ve elektron enerjisinin kuantlaşmış olduğunu göstermesi tartışmasız olarak kabul görmüştür. Ancak, Bohr kuramı atomlardaki elektron davranışlarının tamamını da açıklayamamıştır. 1926 yılında, karmaşık bir matematiksel teknikten yararlanan Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger, Newton'un makroskopik cisimleri için hareket yasalarına benzer bir şekilde, mikroskobik taneciklerin enerjilerini ve genel davranışlarını betimleyen bir denklem geliştirmiştir. *Schrödinger eşitliği* olarak anılan bu eşitliğin çözümü, yoğun bir matematik bilgisini gerektirdiğinden, burada çözümüne ilişkin bir tartışma yapılmayacaktır. Ancak bu eşitliğin, elektron gibi küçük taneciklerin hem kütle (m) ile ifade edilen tanecik davranışlarını, hem de *dalga fonksiyonu* ψ (psi) ile ifade edilen dalga davranışını birleştirdiğini özellikle vurgulayalım.

Öte yandan dalga fonksiyonu taneciğin uzaydaki konumuna bağlı olup tek başına doğrudan bir fiziksel anlamı yoktur. Ancak, bir elektronun uzayda herhangi bir bölgede bulunabilme olasılığı, dalga fonksiyonunun karesi ψ^2 ile doğrudan orantılıdır. Olasılık ile ψ nin ilişkilendirilmesi fikri, dalga kuramı yardımı ile ortaya çıkmıştır. Dalga kuramına göre ışığın yoğunluğu, dalga genliğinin karesi veya ψ^2 ile doğru orantılıdır. Buna göre foton yoğunluğunun en yüksek olduğu yer, fotonun bulunma olasılığının en yüksek olduğu, yani ψ^2 değerinin en yüksek olduğu yer olacaktır. Benzer bir yorumla ψ^2 , bir elektronun çekirdek etrafındaki bulunabileceği yeri belli bir olasılıkla açıklayabilir.

Schrödinger denklemi, *kuantum mekaniği* (ya da *dalga mekaniği*) olarak adlandırılan yeni bir dönemi başlatmış, fizik ve kimyada çığır açmıştır. Günümüzde, Bohr'un hidrojen atomu analizini öne sürdüğü 1913 yılı ile başlayarak, 1926'ya kadarki, kuantum kuramı gelişmelerini kapsayan dönem "eski kuantum kuramı" olarak anılır.

Hidrojen Atomunun Kuantum Mekaniksel Açıklaması

Schrödinger denklemi hidrojen atomundaki elektronun bulunabileceği enerji düzeylerini ve karşılık gelen dalga fonksiyonlarını (ψ) açıklayabilmektedir. Bu enerji düzey-

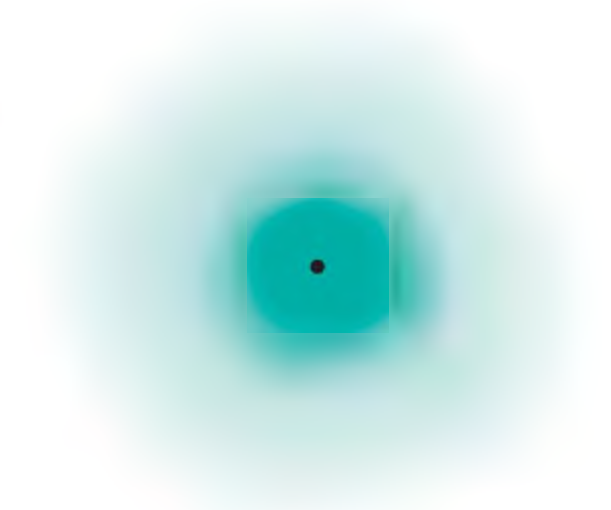
¹Erwin Schrödinger (1887–1961). Avusturyalı fizikçi. Schrödinger, modern kuantum kuramının temeli olan dalga mekaniği formülünü geliştirmiş ve 1933 yılında da Nobel Fizik Ödülünü almıştır.

leri ve dalga fonksiyonları bir dizi kuantum sayıları ile gösterilir. Kuantum sayıları yardımıyla, hidrojen atomu için anlaşılabilir bir model oluşturabiliriz.

Kuantum mekaniği, bir atomdaki elektronun tam yerinin belirlenemeyeceğini öngörmesine karşın, elektronun belirli bir zaman diliminde nerede bulunabileceğini açıklayabilmektedir. **Elektron yoğunluğu kavramı**, atomun belirli bir bölgesinde bir elektronun bulunma olasılığını verir. Buna göre dalga fonksiyonunun karesi ψ^2 , atom çekirdeği etrafındaki üç boyutlu uzayda, elektron yoğunluğu dağılımını göstermektedir. Elektron yoğunluğunun yüksek olduğu bölgeler, onların bulunma olasılığının yüksek olduğu bölgeleri; tersi ise düşük olduğu bölgeleri belirtir (Şekil 7.15).

Bohr modeli ile atomun kuantum mekaniği arasındaki farkın vurgulanması için yörünge yerine atom orbitali terimini kullanacağız. Buna göre **atom orbitali**, atom içindeki bir elektronun dalga fonksiyonu olarak düşünülebilir. Elektronun belirli bir yörüngede bulunduğunu söylerken, aslında elektron yoğunluğunu kastederiz (ya da elektronun bulunma olasılığını). Bu da, orbitalin dalga fonksiyonunun karesi ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, her atom orbitali, karakteristik bir elektron yoğunluğu dağılımına ve enerjiye sahiptir.

Schrödinger denklemi tek elektron ve tek protonlu hidrojen atomu için çok başarılı olsa da, birden fazla sayıda elektron içeren atomlar için denklemin tam çözümü mümkün olamamaktadır. Ancak, gerek kimyacılar gerekse fizikçiler, yaklaşık varsayımlar kullanarak bu tür sorunların üstesinden gelebilmeyi öğrenmişlerdir. Örneğin, **çok elektronlu** (iki veya daha fazla elektron içeren atomlar) atomlar ve hidrojen atomu farklı davranışlarına karşın, bu farklılığın çok büyük olmadığını varsayabiliriz. Bu durumda, hidrojen atomundan elde edilen dalga fonksiyonları ve enerjiler, daha karmaşık atomlardaki elektronların davranışlarını yaklaşık olarak bulmamızı sağlar. Gerçekten, çok elektronlu atomların davranışları bu yaklaşımlarla güvenilir bir şekilde açıklanabilmektedir.



Şekil 7.15 Hidrojen atomu çekirdeği etrafında elektron yoğunluğu dağılımının gösterimi. Çekirdek yakınında elektronun bulunma olasılığı daha yüksektir.

Helyum atomu yalnızca iki elektrona sahip olmasına rağmen, kuantum mekaniğinde çok elektronlu atom gibi görülür.

Kavramların Değerlendirilmesi

Hidrojen atomu elektronu için ψ ve ψ^2 arasındaki fark nedir?

7.6 Kuantum Sayıları

Kuantum mekaniğinde, hidrojen ve diğer atomlardaki *elektron dağılımlarını açıklamak* için üç **kuantum sayısı** gereklidir. Bu kuantum sayıları Schrödinger denkleminin hidrojen atomu için gerçekleştirilen matematiksel çözümünden elde edilmiştir. Bu sayılar, **baş kuantum sayısı**, **açısal momentum kuantum sayısı** ve **manyetik kuantum sayısı** olarak adlandırılırlar. Kuantum sayıları, atom orbitallerinin ve bu orbitallerde yer alan elektronların belirlenmesinde kullanılırlar. **Spin kuantum sayısı** olarak bilinen dördüncü kuantum sayısı ise, belirli bir elektronun davranışını açıklar. Böylece atomlardaki elektronların tanımlanması tamamlanmış olur.

Baş Kuantum Sayısı (n)

Baş kuantum sayısı (n) sadece 1, 2, 3, . . . gibi tam sayılarla ifade edilir ve Eşitlik 7.5'deki kuantum sayısına karşılık gelir. Örneğin hidrojen atomundaki orbital enerjilerini, n 'nin değeri belirler. Göreceğimiz gibi, çok elektronlu atomlardaki durum farklıdır. Baş kuantum sayısı, belirli bir orbitaldeki elektronun çekirdeğe olan ortalama uzaklığıyla da ilişkilidir. Baş kuantum sayısı ne kadar büyük olursa, orbitaldeki elektronun çekirdeğe olan ortalama mesafesi ve buna göre de orbital o kadar büyük olur.

Eşitlik 7.5 sadece hidrojen atomu içindir.

ℓ değeri, orbital türüne göre sabittir.

Açısal Momentum Kuantum Sayısı (ℓ)

Açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) orbitallerin “şekillerini” açıklar (Kesim 7.7’ye bakınız). Açısal momentum kuantum sayısının (ℓ) alabileceği değerler, baş kuantum sayısı n ’nin değerine bağlıdır. Herhangi bir n değeri için, ℓ ’nin alabileceği değerler 0 ile $n-1$ arasındaki tamsayılardır. Eğer $n = 1$ olursa, ℓ sadece tek bir değer alabilir. Bu durumda $\ell = n - 1$ yani $\ell = 1 - 1$ olacağından, bu tek değer sadece sıfır olabilir. Eğer $n = 2$ olursa, ℓ ’nin alabileceği 0 ve 1 olmak üzere iki değer vardır. Eğer $n = 3$ olursa, ℓ ’nin 0, 1 ve 2 olmak üzere üç değer alabilmesi söz konusudur. Genellikle ℓ ’nin değerleri aşağıda gösterildiği gibi s, p, d, \dots harfleri ile belirtilir:

ℓ	0	1	2	3	4	5
Orbitalin Adı	s	p	d	f	g	h

Buna göre $\ell = 0$, s orbitaline; $\ell = 1$, p orbitaline vb. karşılık gelmektedir.

Harflerin sıra dışı dizilişi (s, p ve d) tarihi bir kökene sahiptir. Atomun yayılma spektrumlarını çalışan fizikçiler, geçişlerle ilgili belirli enerji durumlarında gözlenen spektrum çizgilerini ilişkilendirmek için çalıştılar. Çizgilerin bir kısmını keskin (İng. *sharp*); bir kısmını oldukça geniş, ya da yayılmış (İng. *diffuse*); ve bir kısmını da çok güçlü, temel çizgiler (İng. *principal*) olarak adlandırdılar. Daha sonra, bu enerji hallerine her sıfatın ilk harfleri verildi. Ancak d harfinden sonra, f harfinden (İng. *fundamental*) başlamak üzere yörünge gösterimleri alfabetik sırayı izlemektedir.

Aynı n değerine sahip orbitaller topluluğu, genellikle *kabuk* olarak adlandırılır. Aynı n ve ℓ değerlerine sahip bir veya daha fazla sayıdaki orbitaller ise, *alt kabuk* olarak anılırlar. Örneğin $n = 2$ kabuğu, $\ell = 0$ ve $\ell = 1$ olmak üzere iki alt kabuktan oluşmaktadır ($n = 2$ için izin verilen değerler). Bu alt kabuklar $2s$ ve $2p$ alt kabukları olup, buradaki 2 sayısı n ’nin değerini s ve p ise ℓ ’nin değerlerini belirtmektedir.

Unutmayınız ki $2s$ ’deki 2, n değerini, s ise ℓ değerini belirtir.

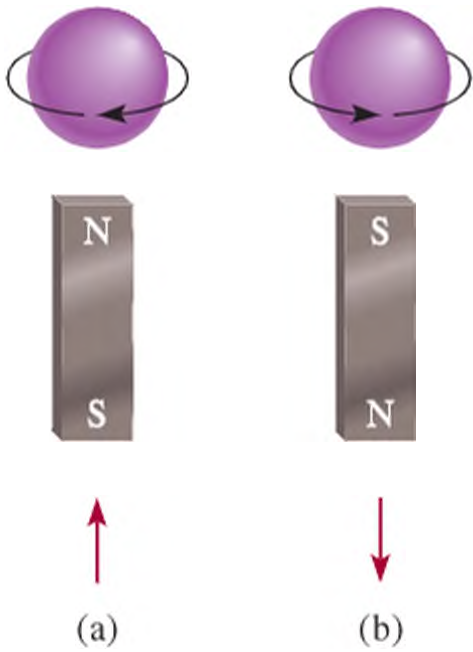
Manyetik Kuantum Sayısı (m_ℓ)

Manyetik kuantum sayısı (m_ℓ), orbitalin uzaydaki yönelmesini gösterir (Kesim 7.7’de tartışılacaktır). Bir alt kabuk için m_ℓ ’nin alabileceği değerler açısal momentum kuantum sayısı ℓ ’nin değerlerine bağlıdır. Verilen bir ℓ değeri için, aşağıda belirtildiği gibi toplam $(2\ell + 1)$ adet farklı m_ℓ değerleri bulunabilir.

$$-\ell, (-\ell + 1), \dots, 0, \dots, (+\ell - 1), +\ell$$

Eğer $\ell = 0$ olursa, $m_\ell = 0$ olur. Ancak $\ell = 1$ olursa, bu durumda $[(2 \times 1) + 1]$ yani $-1, 0$ ve 1 değerlerinde toplam üç adet farklı m_ℓ değeri olacaktır. $\ell = 2$ olduğunda ise, $[(2 \times 2) + 1]$ ya da $-2, -1, 0, 1$ ve 2 olmak üzere toplam beş adet farklı m_ℓ değeri olacaktır. Bir m_ℓ alt kabuğundaki orbitallerin toplam sayısı, belirli bir ℓ değerine karşılık gelir.

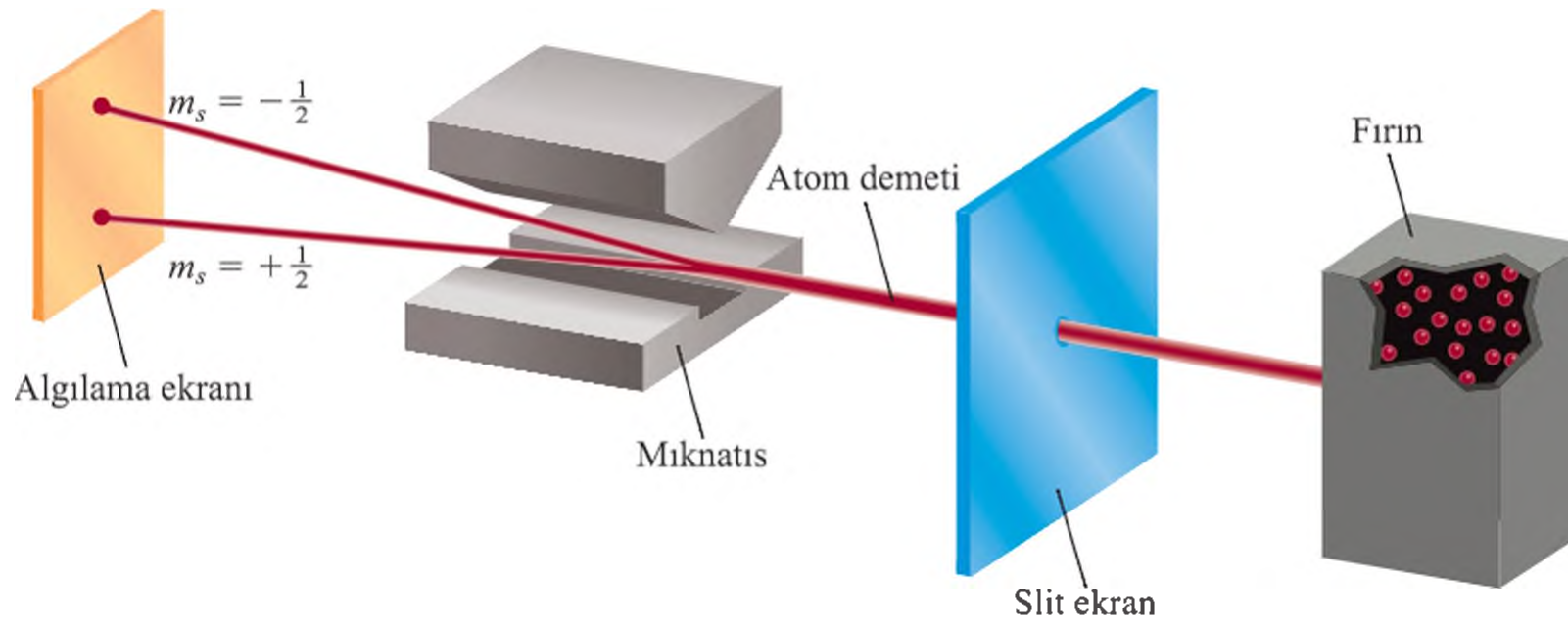
Söz konusu bu üç kuantum sayısına yönelik incelemeyi, $n = 2$ ve $\ell = 1$ durumunu örnek olarak tamamlayalım. $n = 2$ ve $\ell = 1$ olduğunda n ve ℓ değerleri, $2p$ alt kabuğunu gösterir. Bu alt kabukta üç tane $2p$ orbitali bulunur (çünkü m_ℓ ’nin alabileceği değerler $-1, 0$ ve 1 ’dir).



Şekil 7.16 Elektronun (a) saat yönünde (b) saat yönünün tersi yönündeki spinleri. Bu iki dönme hareketinin yaratacağı manyetik alan, aynen mıknatıslarda olduğu gibidir. Yukarı ve aşağı yönlü oklar, spinin dönme yönünü göstermektedir.

Elektron Spin Kuantum Sayısı (m_s)

Hidrojen ve sodyum atomlarının yayılma spektrumlarına yönelik yapılan deneyler, dış bir manyetik alan uygulandığında spektrum çizgilerinin yarıldıklarını göstermiştir. Fizikçiler bu olayı ancak elektronları minik birer mıknatıs gibi varsayarak açıklayabilmişlerdir. Eğer, aynen dünya gibi, elektronların da kendi eksenleri etrafında döndükleri düşünülürse, manyetik özelliklerinin nedeni daha iyi anlaşılabilir. Elektromanyetik kurama göre, dönen yüklü bir tanecik manyetik alan yaratır ve bu hareket elektronun bir mıknatıs gibi davranmasına neden olur. Şekil 7.16’da elektronun saat yönü ve tersi



Şekil 7.17 Elektronların dönme hareketini gösteren deney düzeneği. Atom demeti, bir manyetik alan içerisine yönlendirilir. Örneğin, tek elektronu olan hidrojen atomu spinin yönüne bağlı olarak, manyetik alandan geçerken tek bir yönde saparılır. Çok atomdan oluşan bir atom demetinde ise, iki tür spin eşit olarak dağılacığından ekranda, eşit yoğunlukta iki nokta tespit edilir.

yönünde olmak üzere iki olası dönmesi gösterilmiştir. Elektronun bu spin hareketlerinin göz önüne alınmasıyla, spin kuantum sayısı (m_s) olarak adlandırılan ve $+\frac{1}{2}$ ile $-\frac{1}{2}$ değerlerini alabilen, dördüncü bir kuantum sayısı tanımlanmıştır.

Elektron spinin kesin kanıtı, 1924 yılında Otto Stern¹ ve Walther Gerlach¹ tarafından sağlanmıştır. Şekil 7.17'de bununla ilgili basit deney düzeneği görülmektedir. Sıcak bir fırın içinde üretilen gaz haldeki atom ışını, doğrudan homojen olmayan bir manyetik alandan geçer. Elektron ve manyetik alan arasındaki etkileşim, atomun doğrusal yolundan sapmasına neden olur. Dönme hareketi tamamen rastgele olduğundan, atomların yarısındaki elektronlar bir yönde döner ve bir yöne doğru saparlar; atomların diğer yarısındaki elektronlar ters yönde döner ve diğer yöne doğru hareket ederler. Bu nedenle, ekranda eşit şiddette iki nokta gözlenir.

Stern ve Gerlach deneylerinde, sadece tek bir eşleşmemiş elektron içeren, gümüş atomunu kullanmışlardır. Biz ilkeyi göstermek için hidrojen atomlarının kullanıldığını varsayabiliriz.

Kavramların Değerlendirilmesi

6s yörüngesindeki her iki elektronun, dört kuantum sayısını veriniz.

7.7 Atom Orbitalleri

Çizelge 7.2 atom orbitalleriyle kuantum sayıları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi $\ell = 0$ olduğunda; $(2\ell + 1) = 1$ yani sadece bir m_ℓ değeri söz konusudur. Bu durumda sadece bir tane s orbitali olur. $\ell = 1$ olduğunda ise, $(2\ell + 1) = 3$ olacağından m_ℓ 'ye ait üç değer ve buna bağlı olarak da p_x , p_y ve p_z olarak adlandırılan üç farklı p orbitali ortaya çıkar. Aynı şekilde, $\ell = 2$ olduğunda, $(2\ell + 1) = 5$ olur ve m_ℓ 'ye ilişkin beş değer söz konusudur. Sonuçta, bu beş orbitale karşılık gelen ve değişik indislerle gösterilen beş d orbitali ortaya çıkar. Sonraki bölümlerde s, p ve d orbitalleri ayrı ayrı incelenecektir.

s Orbitalleri. Atom orbitali özelliklerini incelerken, karşınıza çıkan en önemli soru “orbitallerin şekilleri nasıldır?” sorusudur. Aslında, orbitaller tam olarak tanımlanabilmiş şekillere sahip değildirler. Çünkü orbital özelliğini gösteren dalga fonksiyonu atom çekirdeğinden itibaren sonsuza kadar uzanır. Bu bakımdan, bir orbitalin neye benzediğinin tam olarak ifade edilmesi zordur. Buna karşın, özellikle atomlar arasındaki kimyasal bağ oluşumlarını açıklarken, orbitallerin belirli özgün şekillere sahip olduklarını varsaymak çok yararlıdır. Bu bağ oluşumları, Bölüm 9 ve 10'da incelenecektir.

İlke olarak bir elektron her yerde bulunabilmesine karşın, çoğu zaman diliminde çekirdeğe oldukça yakın olduğu bilinmektedir. Şekil 7.18(a)'da hidrojenin 1s orbitalindeki elektron yoğunluğunun, çekirdekten uzaklaştıkça nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Bir orbitalin dalga fonksiyonuna göre, kuramsal olarak orbitalin sınırı olmaz. Bu durum atomların büyüklüklerine yönelik felsefi boyutlu tartışmalara neden olmaktadır. Daha ileride göreceğimiz gibi, kimyacılar atom boyutları konusunda işlevsel bir tanım getirirler.

¹Otto Stern (1888–1969). Alman fizikçi. Atomların manyetik özellikleri ve gazların kinetik kuramı alanındaki çalışmalara önemli katkılar yapmıştır. Stern, 1943 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.

¹Walther Gerlach (1889–1979). Alman fizikçi. Gerlach'ın başlıca araştırma alanı, kuantum kuramıdır.

Çizelge 7.2 Atom Orbitalleri ve Kuantum Sayıları Arasındaki Bağntı

n	ℓ	m_ℓ	Orbital Sayısı	Atom Orbitallerinin Gösterilişi
1	0	0	1	1s
2	0	0	1	2s
	1	-1, 0, 1	3	$2p_x, 2p_y, 2p_z$
3	0	0	1	3s
	1	-1, 0, 1	3	$3p_x, 3p_y, 3p_z$
	2	-2, -1, 0, 1, 2	5	$3d_{xy}, 3d_{yz}, 3d_{xz}, 3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}$

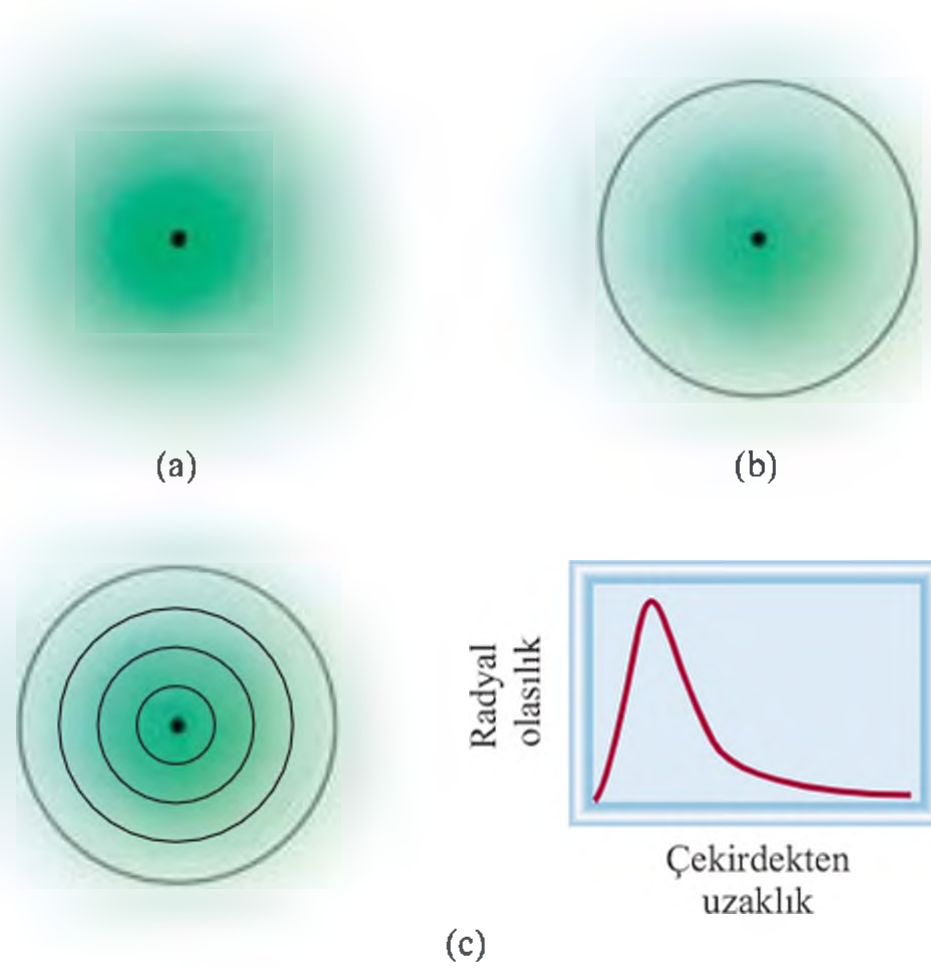
s alt kabuğunda bir, p alt kabuğunda üç ve d alt kabuğunda beş orbital bulunur.

Görüldüğü gibi, çekirdekten uzaklaştıkça elektron yoğunluğu hızla düşmektedir. Yaklaşık bir ifadeyle, çekirdek etrafını saran 100 pm ($1 \text{ pm} = 1 \times 10^{-12} \text{ m}$) yarıçaplı bir kürenin içinde, elektronun bulunma olasılığı yüzde 90 civarındadır. Buna göre, Şekil 7.18(b)'de görüldüğü gibi 1s orbitali, toplam elektron yoğunluğunun yüzde 90'ını içeren bir sınır yüzey diyagramı ile gösterilebilir. Bu nedenle, 1s orbitali küreseldir.

Şekil 7.19 hidrojenin 1s, 2s ve 3s sınır yüzeyi diyagramlarını göstermektedir. Tüm s orbitalleri, farklı büyüklüklerdeki küresel şekillere sahiptir ve kuantum sayısı arttıkça orbitalin büyüklüğü de artmaktadır. Her ne kadar, sınır yüzeylerdeki elektron yoğunluğu değişiminin ayrıntısı belirtilmemişse de, bu durum herhangi bir sorun oluşturmaz. Bizim için atom orbitallerinin en önemli özelliği, şekilleri ve bağıl büyüklükleridir. Bu durum ise yüzey sınır diyagramlarıyla oldukça anlaşılır bir şekilde belirtilebilmektedir.

p Orbitalleri. p orbitalleri, $n = 2$ baş kuantum sayısı ile başlar. Eğer $n = 1$ ise, bu durumda açısal momentum kuantum sayısı $\ell = 0$ olacağından, $n = 1$ 'de yalnızca 1s orbitali bulunur. Daha önce gördüğümüz gibi $\ell = 1$ olduğunda, manyetik kuantum sayısı m_ℓ , -1, 0, 1 değerlerini alabilmektedir. $n = 2$ ve $\ell = 1$ durumunda, $2p_x, 2p_y$ ve $2p_z$ olmak üzere üç tane p orbitali ortaya çıkar (Şekil 7.20). p orbitallerinin alt indisleri, orbitallerin yönlendikleri eksenleri göstermektedir. Bu üç orbitalin enerjileri,

Şekil 7.18 (a) Hidrojenin 1s orbitalindeki elektron yoğunluğunun, çekirdeğe olan uzaklığa karşı grafiği. Çekirdekten uzaklaştıkça, elektron yoğunluğunun hızla azaldığı görülmektedir. (b) Hidrojenin 1s orbitaline ilişkin sınır yüzey diyagramı. (c) Elektron yoğunluğu dağılımını daha gerçekçi göstermek için, 1s orbitali birbirini takip eden ince küresel kabuklar olarak verilmiştir. Bu kabuklardan her birinde elektron bulunma olasılığı, "radyal olasılık" olarak isimlendirilir ve bu olasılık, çekirdeğe olan mesafeye karşı grafiğe alındığında, en fazla elektron yoğunluğunun çekirdekten 52,9 pm uzaklıkta olduğu görülmektedir. Ne ilginçtir ki, bu aynı zamanda Bohr modelinin en iç kabuk yarıçapı değerine karşılık gelir.



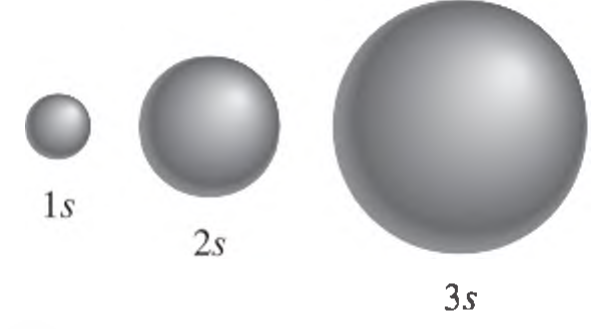
büyüklikleri ve şekilleri özdeş olmasına karşın, yönelişleri farklıdır. m_ℓ değerleri ile x , y ve z yönelmeleri arasında herhangi bir bağıntı olmadığına dikkat edilmelidir. Manyetik kuantum sayısı olan m_ℓ 'nin p orbitali için sadece üç değeri olduğu ve bu üç p orbitalinin farklı yönelmeye sahip olduğu unutulmamalıdır.

Şekil 7.20'de verilen p orbitallerinin sınır yüzey diyagramlarından görüldüğü gibi, orbitaller çekirdeğin iki zıt tarafında uzanan iki lop gibi düşünülebilir. Aynen s orbitallerinde olduğu gibi p orbitallerinin boyutları da $2p$ 'den $3p$ 'ye, $4p$ 'ye vb. baş kuantum sayısı ile artar.

d Orbitaleri ve Diğer Yüksek Enerjili Orbitaler. Açısal momentum kuantum sayısı $\ell = 2$ olduğunda, beş farklı m_ℓ değeri ve buna bağlı olarak beş d orbitali ortaya çıkar. d orbitallerine ilişkin en küçük n değeri 3'tür. Zira ℓ değerinin $n - 1$ 'den büyük olamaması nedeniyle; $n = 3$ iken $\ell = 2$ olması durumunda, Şekil 7.21'de görüldüğü gibi beş adet $3d$ orbitali ($3d_{xy}$, $3d_{yz}$, $3d_{xz}$, $3d_{x^2-y^2}$, $3d_{z^2}$) ortaya çıkar. Aynen p orbitallerinde olduğu gibi, m_ℓ değerlerine bağlı olarak, d orbitallerinin de farklı yönelişleri söz konusudur. Burada da yönelme ile m_ℓ değerleri arasında doğrudan bir ilişki olmadığı yinelenmelidir. Bir atoma ilişkin tüm $3d$ orbitallerinin enerjileri özdeşdir. Baş kuantum sayısının 3'ten büyük olduğu ($4d$, $5d$, ...) diğer d orbitallerinde de benzer durum söz konusudur.

d orbitallerinden daha yüksek enerjiye sahip orbitaller f , g , ... olarak adlandırılırlar. Atom numaraları 57'den büyük elementlerin davranışlarını anlamak için, f orbitalleri çok önemlidir. Ancak, bunların şekilsel olarak gösterimi zordur. Genel kimya çerçevesinde, ℓ değerleri 3'den büyük olan (g orbitalleri ve ötesi) orbitallerle ilgilenilmeyecektir.

Örnek 7.7 ve 7.8, kuantum numaralarına göre orbitallerin gösterimi ve verilen bir baş kuantum sayısından yola çıkarak ilgili orbitallerinin toplam sayısının hesaplanmasını göstermektedir.



Şekil 7.19 Hidrojenin 1s, 2s, 3s sınır yüzey diyagramları. Kürelerden her biri, toplam elektron yoğunluğunun yüzde 90'ını içerir. Tüm s orbitalleri küreseldir. Yaklaşık bir ifadeyle, bir orbitalin büyüklüğü baş kuantum sayısının (n) karesiyle (n^2) orantılıdır.

Örnek 7.7

4d alt kabuğundaki orbitallerin n , ℓ ve m_ℓ değerlerini bulunuz.

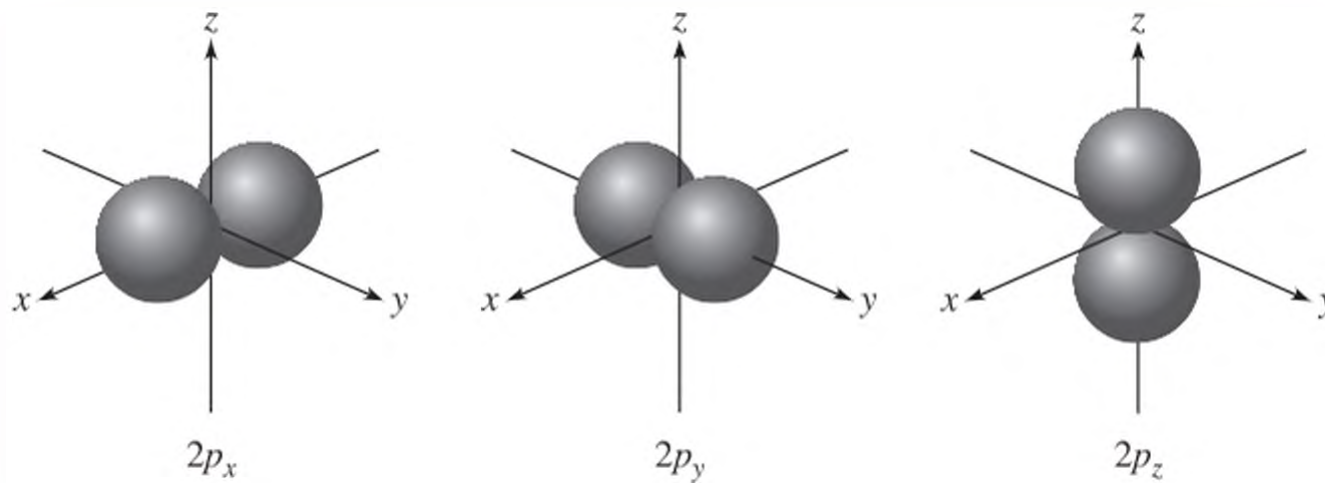
İzlenecek Yol n , ℓ ve m_ℓ arasındaki bağıntılar nelerdir? 4d'deki "4" ve "d" neleri gösterir?

Çözüm Daha önce de gördüğümüz gibi, bir alt kabuğun belirtilmesinde kullanılan sayı, baş kuantum sayısıdır. Örneğimizde bu sayı $n = 4$ 'tür ve sağındaki harf orbitalin türünü belirtmektedir. d orbitali ile ilgilendiğimize göre, $\ell = 2$ olup, m_ℓ değerleri $-\ell$ ile $+\ell$ arasındadır. Bu nedenle m_ℓ değerleri, -2 , -1 , 0 , 1 , 2 olabilir.

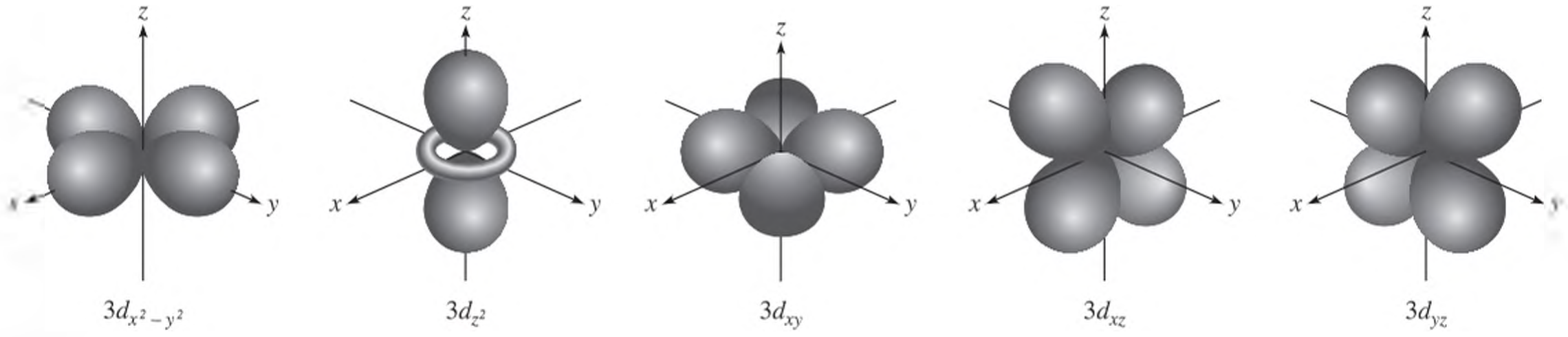
Kontrol 4d orbitali için n ve ℓ değerleri bellidir. Ancak, m_ℓ beş adet d orbitallerinden birine karşılık gelen değeri alabilir.

Alıştırma 3p alt kabuğundaki orbitallere karşılık gelen kuantum sayılarını bulunuz.

Benzer problem: 7.57.



Şekil 7.20 2p orbitallerinin sınır yüzey diyagramları. Bu orbitaller şekil ve enerjileri bakımından özdeş olmalarına karşın, yönelişleri bakımından farklıdır. Daha yüksek baş kuantum sayısına sahip p orbitalleri de benzer şekiller gösterir.



Şekil 7.21 3d orbitallerine ilişkin sınır yüzey diyagramları. Bunlar arasında $3d_z$ farklı görünmesine karşın, tüm özellikleri bakımından diğer dört orbital ile özdeştir. Daha yüksek baş kuantum sayısına sahip d orbitalleri de benzer şekillere sahiptir.

Örnek 7.8

$n = 3$ 'e karşılık gelen toplam orbital sayısı kaçtır?

İzlenecek Yol Verilen bir n değerine sahip toplam orbital sayılarının hesaplanması için, öncelikle ℓ 'nin olası değerlerinin yazılması gereklidir. Daha sonra her bir ℓ değerine ilişkin m_ℓ değerleri bulunur. Toplam orbital sayısı, tüm m_ℓ değerlerinin toplamına eşittir.

Çözüm $n = 3$ için ℓ 'nin olası değerleri 0, 1 ve 2'dir. Buna göre $n = 3$ kabuğunda, sadece bir adet $3s$ orbitali ($n = 3$, $\ell = 0$ ve $m_\ell = 0$); üç adet $3p$ orbitali ($n = 3$, $\ell = 1$, $m_\ell = -1, 0, 1$); beş adet $3d$ orbitali ($n = 3$, $\ell = 2$ ve $m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$) olmak üzere toplam $1 + 3 + 5 = 9$ orbital bulunur.

Kontrol Verilen bir n için toplam orbital sayısı, n^2 dir. Bu örnek için $3^2 = 9$ olacaktır. Bu değer verilen bağıntıyı doğrulamaktadır.

Alıştırma $n = 4$ düzeyinde bulunan toplam orbital sayısı kaçtır?

Berzer problem: 7.62.

Kavramların Değerlendirilmesi

$3d$ orbitalinin olması mümkünken neden $2d$ orbitalinin olması mümkün değildir?

Orbital Enerjileri

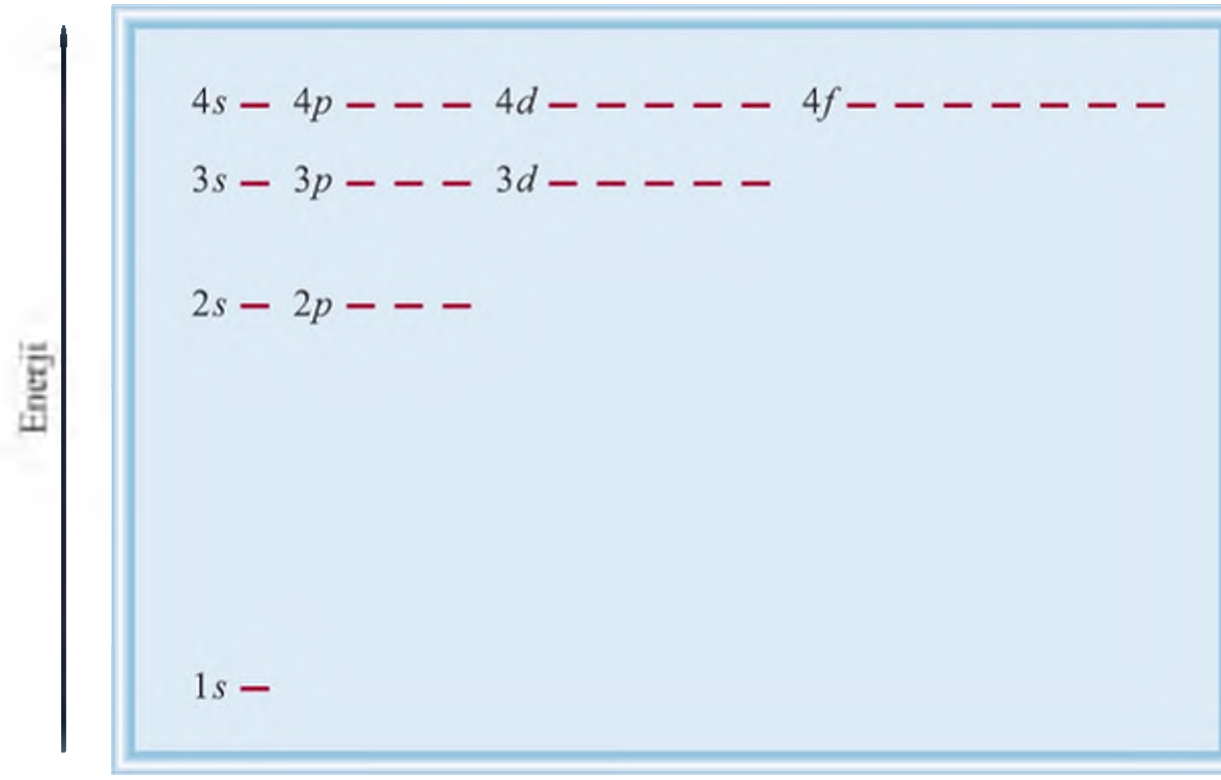
Atom orbitallerinin şekilleri ve büyüklükleri hakkında belirli bir bilgiye sahip olduğumuza göre, artık bunların birbirlerine göre enerjilerini ve bu enerji seviyelerinin atomlardaki elektron düzenlenmelerini nasıl etkilediğini anlayabiliriz.

Eşitlik 7.5'e göre, hidrojen atomundaki bir elektronun enerjisi sadece baş kuantum sayısına bağlıdır. Buna göre hidrojen orbitallerine ilişkin enerjilerin aşağıdaki gibi (Şekil 7.22) artması beklenir:

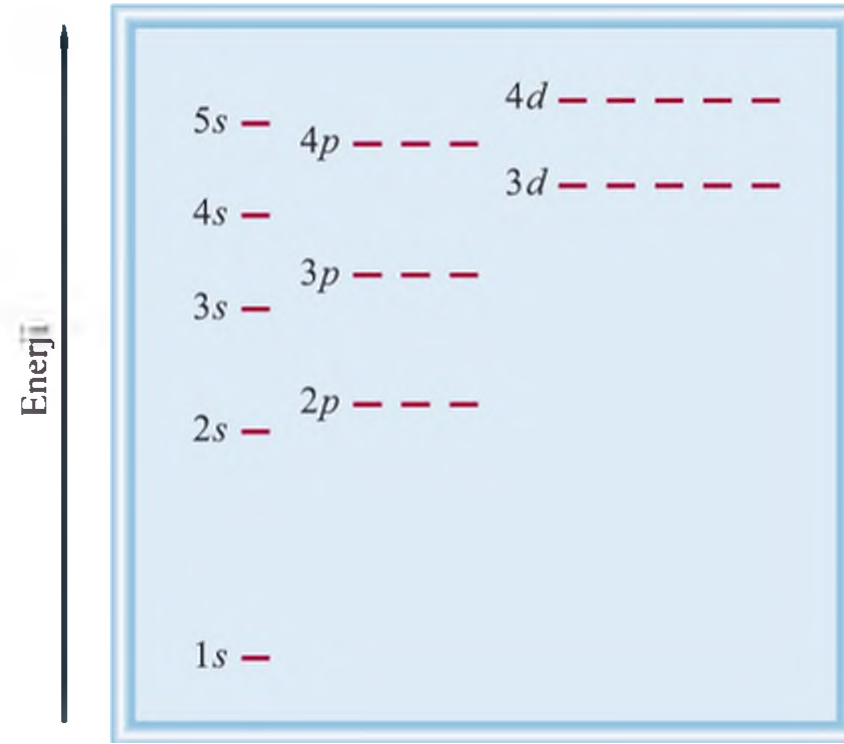
$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \dots$$

Hidrojen atomunun $2s$ ve $2p$ orbitallerine ait elektron yoğunluğu dağılımı farklı olmasına karşın, elektron bunlardan hangisinde yer alırsa alsın, aynı enerjiye sahip olacaktır. Hidrojen atomunun en kararlı hali, elektronunun $1s$ orbitalinde yer aldığı temel halidir. Bu orbitalde yer alan elektron, çekirdeğe en yakın konumda bulunduğundan, çekirdek tarafından en sıkı şekilde tutulacaktır. Elektron $2s$, $2p$ ya da daha yüksek enerjili orbitallerde bulunuyorsa, hidrojen atomu uyarılmış haldedir.

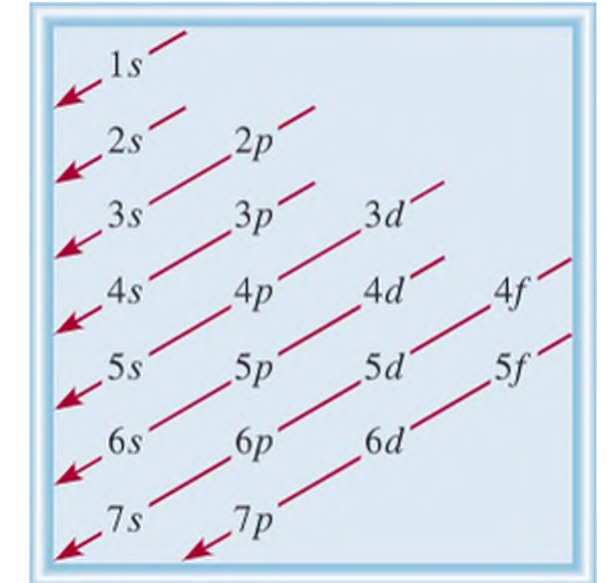
Hidrojen dışındaki çok elektronlu atomlara ilişkin enerji tablosu daha karmaşıktır. Bu tür atomlardaki elektronların enerjileri, baş kuantum sayısının yanı sıra açıl



Şekil 7.22 Hidrojen atomunun orbital enerji seviyeleri. Kısa yatay çizgilerden her biri bir orbitali göstermektedir. Aynı baş kuantum sayısına (n) sahip tüm orbitaller aynı enerjiye sahiptir.



Şekil 7.23 Çok elektronlu bir atomun orbital enerji seviyeleri. Enerji seviyelerinin hem n hem de ℓ değerlerine bağlı olduklarına dikkat ediniz.



Şekil 7.24 Çok elektronlu atomlarda alt kabukların doldurulma sırası. 1s orbitalinden başlayarak aşağıya doğru oklar yönünde hareket ediniz. Buna göre sıralama: $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < \dots$ dir.

momentum kuantum sayısına da bağlıdır (Şekil 7.23). Çok elektronlu atomlarda, 3d enerji düzeyi 4s enerji düzeyine çok yakındır. Bir atomun toplam enerjisi sadece orbital enerjilerinin toplamına bağlı değil, aynı zamanda bu orbitallerde yer alan elektronlar arası itme kuvvetlerine de bağlıdır (Kesim 7.8’de göreceğimiz gibi, her orbital en fazla iki elektronu barındırabilir). Buna göre, bir atomda 4s orbitalinin 3d orbitalinden önce doldurulması, toplam enerjinin daha düşük olmasına neden olacaktır. Şekil 7.24’de çok elektronlu atomlarda atom orbitallerinin doldurulma sırası gösterilmektedir. Kesim 7.8’de buna ait örnekler ayrıca ele alınacaktır.

7.8 Elektron Dağılımı

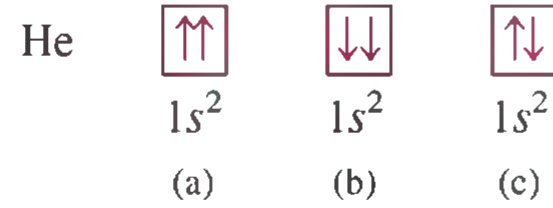
Dört kuantum sayısı (n , ℓ , m_ℓ ve m_s) herhangi bir atomun herhangi bir orbitalindeki elektronu bütünüyle tanımlayabilmemize olanak verir. Bir şahsın adresinin cadde, şehir, ülke ve posta kodu ile belirtilmesi gibi, söz konusu dört kuantum sayısı da, bir elektronun atom içindeki “adres”i olarak kabul edilebilir. Örneğin, 2s’de yer alan bir elektrona ilişkin kuantum sayıları, $n = 2$, $\ell = 0$, $m_\ell = 0$ ve $m_s = +\frac{1}{2}$ ya da $-\frac{1}{2}$ olabilir. Kuantum sayılarının tümünün yazılması pek pratik olmadığından, basitleştirerek, (n , ℓ , m_ℓ ve m_s) şeklinde ifade edilir. Yukarıda verilen örnekteki kuantum sayıları, ya

Yukarı doğru ok, elektronun iki olası spininden birini belirtir (Elektronu aşağı doğru bir okla da gösterebilirdik). Kutu bir atom orbitalini göstermektedir.

Elektron spini yönünün elektronun enerjisi üzerinde etkisinin olmadığını hatırlayınız.

Pauli Dışlama İlkesi

Çok elektronlu atomların elektron dağılımlarını belirlemek için **Pauli¹ dışlama ilkesi** kullanılır. Pauli dışlama ilkesine göre, *bir atomun herhangi iki elektronu, aynı dört kuantum sayısına sahip olamaz*. Bir atomun her iki elektronu da aynı n , ℓ ve m_ℓ değerlerine sahip olsalar bile (yani, bu iki elektron aynı atom orbitalinde) m_s değerleri mutlaka farklı olacaktır. Bunun anlamı, aynı orbitali sadece iki elektronun işgal edebileceği ve bu elektronların da zıt yönlü spinlerde olması zorunluluğudur. Örneğin, iki elektronlu helyum atomunu düşünelim. İki elektronun $1s$ orbitaline yerleşmelerine ilişkin, aşağıda gösterilen üç olasılık söz konusudur.



Pauli dışlama ilkesi gereğince (a) ve (b) gösterimleri doğru değildir. (a) da her iki elektron da aynı yönde (yukarı) spine ve $(1, 0, 0, +\frac{1}{2})$ ile gösterilen aynı dört kuantum sayısına sahiptir. (b) de ise, her iki elektron aynı (aşağıya) spine ve $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$ ile ifade edilen aynı dört kuantum sayısına sahiptir. Bunlar arasında sadece (c)'de verilen dağılım kabul edilebilir. Çünkü (c)'de elektronlardan birinin $(1, 0, 0, +\frac{1}{2})$, diğerinin $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$ ile ifade edilen kuantum sayılarına sahip olmaları söz konusudur. Buna göre helyum atomuna ilişkin dağılım şöyle olmalıdır.



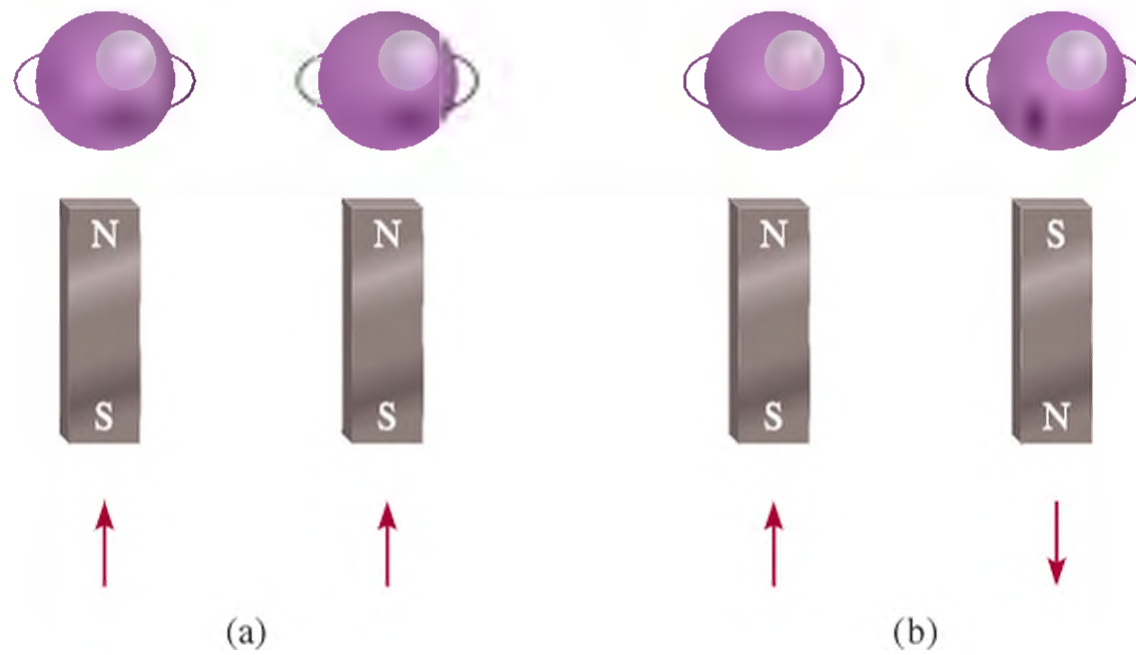
Karşıt spinlere sahip elektronlar, eşleşmiş elektronlar olarak isimlendirilirler. Helyumda elektronlardan biri için $m_s = +\frac{1}{2}$, diğeri için $m_s = -\frac{1}{2}$ yazılır.

$1s^2$, “bir s kare” olarak değil, “bir s iki” diye okunur.

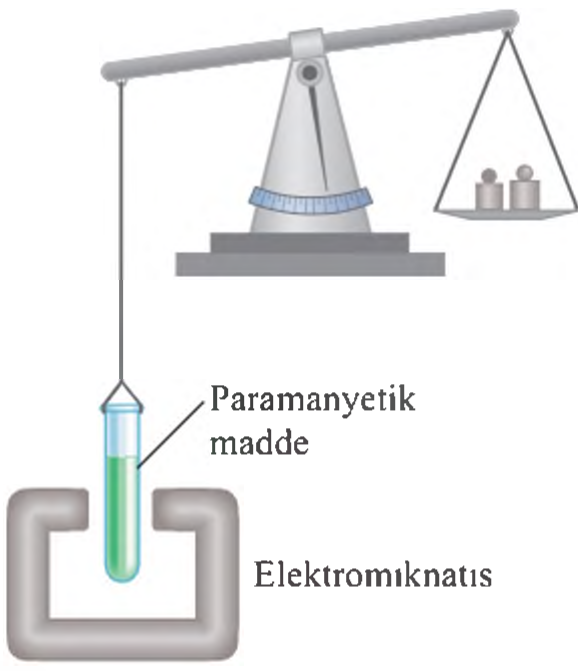
Diyamanyetizm ve Paramanyetizm

Pauli dışlama ilkesi, kuantum mekaniğinin en temel ilkelerinden biridir. Eğer helyum atomunda iki elektron aynı (ya da paralel) spine ($\uparrow\uparrow$ ya da $\downarrow\downarrow$) sahip olsalardı, bunların net manyetik alanlarının birbirlerini güçlendirmesi gerekirdi [Şekil 7.25(a)]. Helyumun böyle bir elektron düzeni, helyum gazının paramanyetik olmasına neden olurdu.

¹Wolfgang Pauli (1900–1958). Avusturyalı fizikçi. Kuantum mekaniğinin kurucularından biridir. Pauli, 1945 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır.



Şekil 7.25 İki elektronun (a) paralel (b) anti paralel spinleri. Durum (a)'da iki manyetik alan birbirlerini güçlendirir. Durum (b)'de ise iki manyetik alan birbirlerini yok eder.

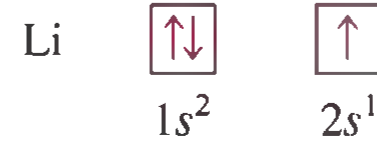


Şekil 7.26 Başlangıçta paramanyetik madde, manyetik alan yokluğunda bir terazide tartılır. Elektromıknatis açıldığında, örnek tüp manyetik alanın içine çekildiği için denge kurulur. Dengeyi yeniden kurmak için gerekli olan ek kütle ve derişimin bilinmesi durumunda, örnekteki eşleşmemiş elektronların sayısını hesaplamak mümkündür.

Paramanyetik maddeler net olarak belirli sayıda eşleşmemiş elektrona(sipine) sahiptirler ve mıknatıs tarafından çekilebilirler. Elektron spinleri eşleşmiş (ya da birbirlerine göre anti paralel) olmaları durumunda ($\uparrow\downarrow$ ya da $\downarrow\uparrow$), manyetik etkiler birbirlerini yok eder [Şekil 7.25(b)]. Buna göre, net olarak eşleşmemiş spin içermeyen ve bir mıknatıs tarafından neredeyse hiç itilmeyen maddeler, **diyamanyetik** maddelerdir.

Bir elementin elektron dağılımına yönelik en doğrudan kanıt, manyetik özelliklerinin ölçümü yoluyla sağlanır. Son 30 yıldır cihaz tasarımlarındaki gelişmeler bir atomdaki eşleşmemiş elektron sayısının belirlenmesine olanak sağlamıştır (Şekil 7.26). Temel haldeki helyum atomunun, net bir manyetik alana sahip olmadığı deneysel olarak bulunmuştur. Bu nedenle, Pauli dışlama ilkesine uygun olarak, $1s$ orbitalindeki iki elektronunun spinleri eşleşmiş olan helyum gazı, diyamanyetik özellikte olacaktır. Unutulmamalıdır ki, tek sayıda elektron içeren atomlar en az bir tane eşleşmemiş elektron taşırlar ve daima paramanyetik özellik gösterirler. Çünkü tam bir spin eşleşmesi için, elektron sayısının çift olması gereklidir. Ancak toplam elektron sayısı çift olan atomlardaki elektron spinleri eşleşmiş ya da eşleşmemiş olabilir. Bu özel durumun nasıl mümkün olabildiği daha sonra açıklanacaktır.

Bir diğer örnek olarak üç elektrona sahip lityum ($Z = 3$) atomunu inceleyelim. Lityumda üçüncü elektronun $1s$ orbitalinde yer alması, Pauli dışlama ilkesine ters düşer. Çünkü bu durumda bir elektron diğer iki elektronun birisiyle aynı dört kuantum sayısında sahip olacaktır. Bu nedenle, üçüncü elektron, enerji bakımından biraz daha yüksek olan $2s$ orbitaline “girer” (Şekil 7.23’e bakınız). Buna göre lityum atomunun elektron dağılımı $1s^2 2s^1$ dir ve orbital diyagramı aşağıda verdiği gibi olmalıdır.



Lityum atomunda bir adet eşleşmemiş elektron bulunur ve bu nedenle lityum metali paramanyetikdir.

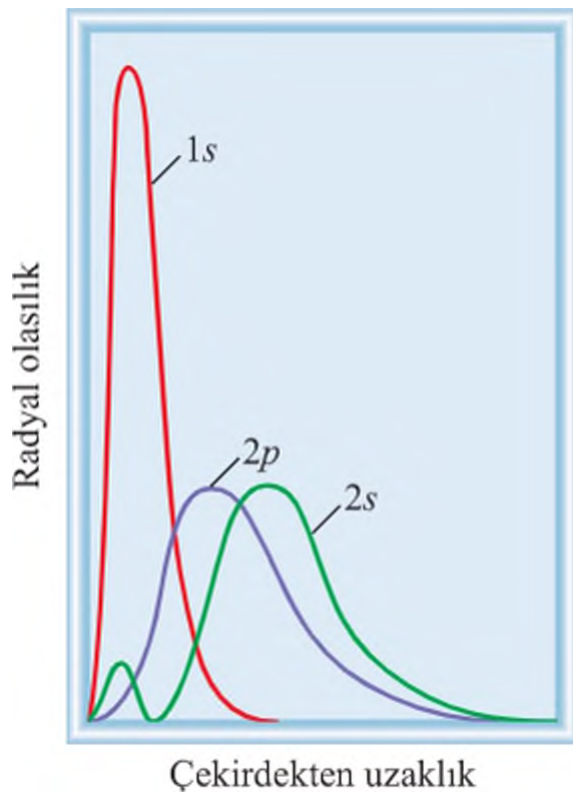
Çok Elektronlu Atomlarda Perdeleme Etkisi

Çok elektronlu bir atomda $2s$ orbitalinin $2p$ orbitalinden daha düşük enerjili olduğu deneysel olarak bulunmuştur. Bunun nedeni ne olabilir? $1s^2 2s^1$ ve $1s^2 2p^1$ elektron dağılımlarını kıyaslarsak, her ikisinde de $1s$ ’de iki elektron vardır. Şekil 7.27’de $1s$, $2s$ ve $2p$ orbitallerine ilişkin radyal olasılıklar görülmektedir. $2s$ ve $2p$ orbitalleri $1s$ orbitalinden daha büyük olduğundan, bu orbitallerden birinde yer alan bir elektron, zamanının daha büyük bir kısmını $1s$ dekine göre, çekirdekten daha uzakta geçirecektir. Bu durumda $2s$ ve $2p$ elektronları $1s$ elektronları tarafından kısmen “perdelenecek” ve çekirdeğin çekim etkisini daha az hissedeceklerdir. Başka bir deyişle, perdeleme etkisinin bir sonucu olarak, çekirdekten protonlarla, $2s$ ve $2p$ orbitalinde bulunan elektron arasındaki elektrostatik etkileşimde bir *azalma* ortaya çıkacaktır.

Çekirdekten uzaklaştıkça elektron yoğunluğundaki değişim, orbital türüne bağlıdır. $2s$ elektronu, $2p$ elektronuna göre, zamanının büyük bir kısmını çekirdekten biraz daha uzakta geçirmesine karşın, çekirdek yakınındaki yoğunluğu daha fazladır. (Şekil 7.27’de $2s$ orbitalinin küçük pikine bakınız). Bu nedenle $2s$ orbitali $2p$ orbitaline göre daha “girgindir”. Sonuçta, $1s$ elektronlarının $2s$ elektronu üzerindeki perdeleme etkisi daha az olacak ve çekirdek tarafından daha sıkı tutulacaktır. Gerçekten de aynı baş kuantum sayısında, açıl momentum kuantum sayısı ℓ arttıkça, elektronların çekirdek tarafından çekilme gücü azalır.

$$s > p > d > f > \dots$$

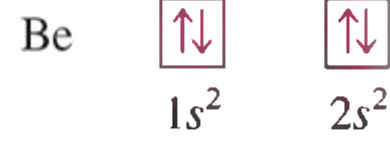
Bu elektronun kararlılığı, çekirdekler arasındaki çekim gücünün kuvvetine bağlıdır. Buna göre, $2s$ elektronunun $2p$ elektronuna göre daha düşük enerjili olması beklenir.



Şekil 7.27 $1s$, $2s$ ve $2p$ orbitallerinin radyal olasılık eğrileri (Şekil 7.18’e bakınız). $1s$ elektronları $2s$ ve $2p$ elektronlarını çekirdeğe karşı etkili bir şekilde perdeler. $2s$ orbitali $2p$ orbitalinden daha girgindir.

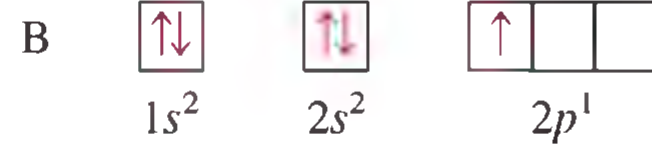
Başka bir deyişle, çekirdek tarafından $2s$ elektronuna göre daha gevşek bağlanan $2p$ elektronunun koparılması, daha az enerjiyle gerçekleştirilir. Hidrojen atomu sadece bir elektrona sahip olduğundan, perdeleme etkisinden söz edilemez.

İlk on elementin elektron dağılımlarını incelemeye, berilyum ($Z = 4$) ile devam edelim. Berilyumun temel haldeki elektron dağılımı $1s^2 2s^2$ dir.



Beklenildiği gibi, berilyum diyamanyetiktir.

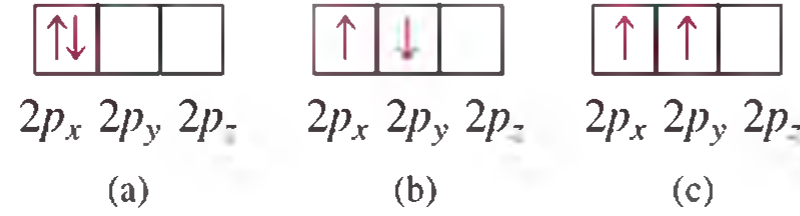
Borun elektron dağılımı ($Z = 5$) ise $1s^2 2s^2 2p^1$ dir.



Eşleşmemiş elektron $2p_x$, $2p_y$ ya da $2p_z$ orbitallerinden herhangi birinde olabilir. Söz konusu p orbitalleri eş enerjili olduklarından, bu seçim tamamen rastgeledir. Diyagramdan da görüldüğü gibi, bor paramanyetiktir.

Hund Kuralı

Karbonun elektron dağılımı ($Z = 6$) $1s^2 2s^2 2p^2$ dir. Aşağıda bu atomun p orbitalindeki elektronlarının olası dağılımları verilmiştir.



Bu dağılımlardan hiçbirisi Pauli dışlama ilkesine aykırı değildir. Ancak içlerinden en kararlı olanı hangisidir? **Hund kuralı**¹ bu sorunun cevabını vermektedir. Hund kuralına göre, *bir alt kabıktaki elektronların en kararlı dağılımı, paralel spinin en fazla olduğu haldir.* Verilen düzenlemeler arasında sadece (c) bu koşulu sağlamaktadır. Hem (a) hem de (b) de elektronların spinleri birbirlerini götürür. Buna göre karbona ilişkin orbital diyagramı aşağıdaki gibidir.



Nitel olarak (a) yerine (c) nin tercih edilme nedenini anlamamız kolaydır. İki elektronun aynı $2p_x$ orbitalinde yer aldığı (a) düzeninde, bunların birbirini itmesi, ayrı orbitallerde, örneğin, $2p_x$ ve $2p_y$ de yer aldıkları (b) düzenine göre daha fazladır. Diğer yandan, kuramsal bakımdan doğru olmasına karşın, neden (c)'nin (b)'ye tercih edildiği hemen göze çarpmaz. Ancak, karbon atomunun iki adet eşleşmemiş elektrona sahip olması, yukarıda verilen Hund kuralına uygundur.

Azotun elektron dağılımı ($Z = 7$) $1s^2 2s^2 2p^3$ dir.



Hund kuralı, $2p$ elektronlarının tamamının paralel spinlere sahip olacağını ve azot atomunun üç adet eşleşmemiş elektron içereceğini öngörmektedir.

¹Frederick Hund (1896–1997). Alman fizikçi. Hund' un çalışmaları ağırlıklı olarak kuantum mekaniği üzerinedir. Ayrıca, kimyasal bağlanmada moleküler orbital kuramının geliştirilmesine de yardımcı olmuştur.

Oksijenin elektron dağılımı ($Z = 8$) $1s^2 2s^2 2p^4$ dir ve bir oksijen atomu iki adet eşleşmemiş elektrona sahiptir.

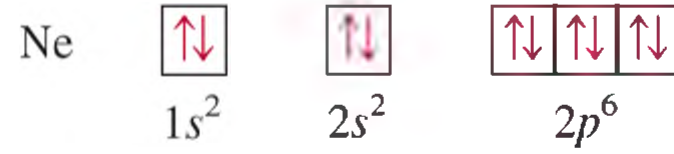


Florun elektron dağılımı ($Z = 9$) $1s^2 2s^2 2p^5$ dir ve dokuz elektron aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.



Flor atomu bir adet eşleşmemiş elektrona sahiptir.

Neonda ($Z = 10$) $2p$ alt kabuğu tamamen dolmuştur. Neonun elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^6$ dir ve tüm elektronlar spin eşleşmesi gösterirler.



Neon gazı diyamanyetik olmalıdır ve deneysel veriler bunu doğrulamaktadır.

Elektronların Atom Orbitallerine Dağılım Kuralları

Verilen örneklerle dayanarak: belirli bir n değeri için çeşitli altkabuk ve orbitalerde yer alabilecek en fazla elektron sayısını belirlemek için genel bazı kurallar verilebilir:

1. Baş kuantum sayısı n olan her kabuk, n tane alt kabuğa sahiptir. Örneğin, $n = 2$ ise, açısal momentum kuantum sayıları $\ell = 0$ ve $\ell = 1$ olan iki alt kabuk vardır.
2. Açısal momentum kuantum sayısı ℓ olan her kabukta $(2\ell + 1)$ tane orbital yer alır. Örneğin, $\ell = 1$ ise, üç tane p orbitali vardır.
3. Her orbitale en fazla iki elektron yerleştirilebilir. Bu nedenle maksimum elektron sayısı, orbital sayısının iki katıdır.
4. Bir atomun n ana kabuğuna alabileceği maksimum elektron sayısı $2n^2$ dir.

Örnek 7.10 ve 7.11, yörüngelerdeki elektron sayılarının hesaplanması ile her elektronun dört kuantum sayısı ile tanımlanmasını göstermektedir.

Örnek 7.10

$n = 3$ enerji düzeyinde yer alabilecek maksimum elektron sayısı nedir?

İzlenecek Yol Baş kuantum sayısı (n) verilmiş olduğundan, açısal momentum kuantum sayısının (ℓ) olası değerlerini bulabiliriz. Yukarıda söz edilen kurala göre, her bir ℓ değeri için $(2\ell + 1)$ adet orbital olmalıdır. Bu bağıttan yararlanarak, toplam orbital sayısını hesaplayabiliriz. Bu orbitallerden her biri kaç elektron bulundurabilir?

(Devamı)

Çözüm $n=3$ olduğunda $\ell = 0, 1$ ve 2 'dir. Her bir ℓ değerine ilişkin orbital sayısı aşağıda gösterilmektedir.

ℓ Degerleri	Orbital Sayısı ($\ell + 1$)
0	1
1	3
2	5

$n = 3$ için toplam orbital sayısı dokuzdur. Bu orbitallerden her biri iki elektron barındırabileceğinden, maksimum elektron sayısı $2 \times 9 = 18$ olacaktır.

Kontrol Örnek 7.8'deki (n^2) formülünü kullanırsak, toplam orbital sayısını 3^2 ve toplam elektron sayısını da $2(3^2) = 18$ buluruz. Genel olarak bir n temel enerji düzeyine ilişkin toplam elektron sayısı $2n^2$ olur.

Alıştırma $n = 4$ temel düzeyinde yer alabilecek toplam elektron sayısını hesaplayınız.

Benzer problemler: 7.64, 7.65.

Örnek 7.11

Oksijen atomunda toplam sekiz elektron bulunur. Temel haldeki bu sekiz elektronun her birine ilişkin dört kuantum sayısını yazınız.

İzlenecek Yol $n = 1$ 'den başlayarak orbitalleri, Şekil 7.24'de verilen sıralama doğrultusunda dolduralım. Her n değeri için olası ℓ değerlerini ve her ℓ değeri için de olası m_ℓ değerlerini bulalım. Elektronları orbitallere Pauli dışlama ilkesi ve Hund kuralına uygun olarak yerleştirelim.

Çözüm Önce $n=1$ ana kabuğu ile başlayalım. Bu kabukta $n=1$ ve $\ell = 0$ olduğundan, sadece $1s$ orbitali vardır ve dolayısıyla toplam iki elektron barınabilir. Bir sonraki düzey $n = 2$ olduğundan $\ell, 0$ ve 1 olabilir. $\ell = 0$ alt kabuğunda bir adet $2s$ orbitali ve bulundurabileceği iki elektron vardır. Geriye kalan dört elektron ise, üç adet $2p$ orbitaline sahip olan $\ell = 1$ alt kabuğuna yerleşir. Buna göre oksijenin orbital diyagramı aşağıdaki gibi yazılır.



Sonuçlar aşağıdaki çizelgede özetlenmektedir.

Elektron	n	ℓ	m_ℓ	m_s	Orbital
1	1	0	0	$+\frac{1}{2}$	1s
2	1	0	0	$-\frac{1}{2}$	
3	2	0	0	$+\frac{1}{2}$	2s
4	2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
5	2	1	-1	$+\frac{1}{2}$	$2p_x, 2p_y, 2p_z$
6	2	1	0	$+\frac{1}{2}$	
7	2	1	1	$+\frac{1}{2}$	
8	2	1	1	$-\frac{1}{2}$	

Sekizinci elektronun $m_\ell = 1$ orbitaline yerleştirilmesi, tamamen keyfidir. Bu elektron $m_\ell = 0$ ya da $m_\ell = -1$ 'e yerleştirilseydi yapılan işlem yine doğru olacaktı.

Alıştırma Bor (B) atomunun her bir elektronu için tüm kuantum sayılarını yazınız.

Benzer problem: 7.91.

Çizelge 7.3 Elementlerin Temel Hal Elektron Dağılımları*

Atom Numarası	Sembol	Elektron Dağılımı	Atom Numarası	Sembol	Elektron Dağılımı	Atom Numarası	Sembol	Elektron Dağılımı
1	H	1s ¹	39	Y	[Kr]5s ² 4d ¹	77	Ir	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁷
2	He	1s ²	40	Zr	[Kr]5s ² 4d ²	78	Pt	[Xe]6s ¹ 4f ¹⁴ 5d ⁹
3	Li	[He]2s ¹	41	Nb	[Kr]5s ¹ 4d ⁴	79	Au	[Xe]6s ¹ 4f ¹⁴ 5d ¹⁰
4	Be	[He]2s ²	42	Mo	[Kr]5s ¹ 4d ⁵	80	Hg	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰
5	B	[He]2s ² 2p ¹	43	Tc	[Kr]5s ² 4d ⁵	81	Tl	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ¹
6	C	[He]2s ² 2p ²	44	Ru	[Kr]5s ¹ 4d ⁷	82	Pb	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ²
7	N	[He]2s ² 2p ³	45	Rh	[Kr]5s ¹ 4d ⁸	83	Bi	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ³
8	O	[He]2s ² 2p ⁴	46	Pd	[Kr]4d ¹⁰	84	Po	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ⁴
9	F	[He]2s ² 2p ⁵	47	Ag	[Kr]5s ¹ 4d ¹⁰	85	At	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ⁵
10	Ne	[He]2s ² 2p ⁶	48	Cd	[Kr]5s ² 4d ¹⁰	86	Rn	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ⁶
11	Na	[Ne]3s ¹	49	In	[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ¹	87	Fr	[Rn]7s ¹
12	Mg	[Ne]3s ²	50	Sn	[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ²	88	Ra	[Rn]7s ²
13	Al	[Ne]3s ² 3p ¹	51	Sb	[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ³	89	Ac	[Rn]7s ² 6d ¹
14	Si	[Ne]3s ² 3p ²	52	Te	[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁴	90	Th	[Rn]7s ² 6d ²
15	P	[Ne]3s ² 3p ³	53	I	[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁵	91	Pa	[Rn]7s ² 5f ² 6d ¹
16	S	[Ne]3s ² 3p ⁴	54	Xe	[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁶	92	U	[Rn]7s ² 5f ³ 6d ¹
17	Cl	[Ne]3s ² 3p ⁵	55	Cs	[Xe]6s ¹	93	Np	[Rn]7s ² 5f ⁴ 6d ¹
18	Ar	[Ne]3s ² 3p ⁶	56	Ba	[Xe]6s ²	94	Pu	[Rn]7s ² 5f ⁶
19	K	[Ar]4s ¹	57	La	[Xe]6s ² 5d ¹	95	Am	[Rn]7s ² 5f ⁷
20	Ca	[Ar]4s ²	58	Ce	[Xe]6s ² 4f ¹ 5d ¹	96	Cm	[Rn]7s ² 5f ⁷ 6d ¹
21	Sc	[Ar]4s ² 3d ¹	59	Pr	[Xe]6s ² 4f ³	97	Bk	[Rn]7s ² 5f ⁹
22	Ti	[Ar]4s ² 3d ²	60	Nd	[Xe]6s ² 4f ⁴	98	Cf	[Rn]7s ² 5f ¹⁰
23	V	[Ar]4s ² 3d ³	61	Pm	[Xe]6s ² 4f ⁵	99	Es	[Rn]7s ² 5f ¹¹
24	Cr	[Ar]4s ¹ 3d ⁵	62	Sm	[Xe]6s ² 4f ⁶	100	Fm	[Rn]7s ² 5f ¹²
25	Mn	[Ar]4s ² 3d ⁵	63	Eu	[Xe]6s ² 4f ⁷	101	Md	[Rn]7s ² 5f ¹³
26	Fe	[Ar]4s ² 3d ⁶	64	Gd	[Xe]6s ² 4f ⁷ 5d ¹	102	No	[Rn]7s ² 5f ¹⁴
27	Co	[Ar]4s ² 3d ⁷	65	Tb	[Xe]6s ² 4f ⁹	103	Lr	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ¹
28	Ni	[Ar]4s ² 3d ⁸	66	Dy	[Xe]6s ² 4f ¹⁰	104	Rf	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ²
29	Cu	[Ar]4s ¹ 3d ¹⁰	67	Ho	[Xe]6s ² 4f ¹¹	105	Db	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ³
30	Zn	[Ar]4s ² 3d ¹⁰	68	Er	[Xe]6s ² 4f ¹²	106	Sg	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁴
31	Ga	[Ar]4s ² 3d ¹⁰ 4p ¹	69	Tm	[Xe]6s ² 4f ¹³	107	Bh	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁵
32	Ge	[Ar]4s ² 3d ¹⁰ 4p ²	70	Yb	[Xe]6s ² 4f ¹⁴	108	Hs	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁶
33	As	[Ar]4s ² 3d ¹⁰ 4p ³	71	Lu	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹	109	Mt	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁷
34	Se	[Ar]4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁴	72	Hf	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ²	110	Ds	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁸
35	Br	[Ar]4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁵	73	Ta	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ³	111	Rg	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ⁹
36	Kr	[Ar]4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁶	74	W	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁴	112	Cn	[Rn]7s ² 5f ¹⁴ 6d ¹⁰
37	Rb	[Kr]5s ¹	75	Re	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁵			
38	Sr	[Kr]5s ²	76	Os	[Xe]6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁶			

*[He] simgesi helyum göbeği olarak adlandırılır ve 1s¹ ile gösterilir. [Ne] neon göbeği olarak adlandırılır ve 1s²2s²2p⁶ ile gösterilir. [Ar] argon göbeği olarak adlandırılır ve [Ne]3s²3p⁶ ile gösterilir. [Kr] kripton göbeği olarak adlandırılır ve [Ar]4s²3d¹⁰4p⁶ ile gösterilir. [Xe] ksenon göbeği olarak adlandırılır ve [Kr]5s²4d¹⁰5p⁶ ile gösterilir. [Rn] radon göbeği olarak adlandırılır ve [Xe]6s²4f¹⁴5d¹⁰6p⁶ ile gösterilir.

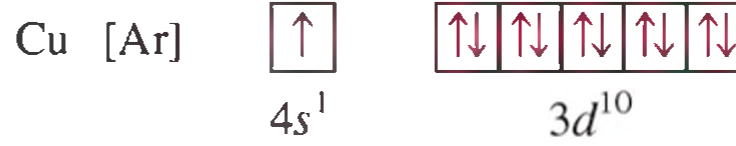
Geçiş metalleri

ğunu desteklemektedir. Potasyumunun kimyasal özelliği ilk iki alkali metal olan litium ve sodyumla çok benzerlik gösterir. Lityum ve sodyumdaki en dış elektronların, s orbitalinde yer aldığı şüphe götürmez bir gerçektir. Bu nedenle potasyumdaki son elektronun da $3d$ yerine $4s$ orbitalinde yer alması beklenir.

Skandiyumdan ($Z = 21$) bakıra ($Z = 29$) kadar olan elementler geçiş metalleridir. **Geçiş metalleri** ya tam dolmamış d alt kabuklarına sahiptirler; ya da tam dolmamış d alt kabuklarına sahip olan metal katyonlarına kolayca dönüşürler. Şimdi skandiyumdan ($Z = 21$) başlayarak bakıra ($Z = 29$) kadar uzanan birinci geçiş metalleri serisini ele alalım. Bu seride ilave elektronlar Hund kuralına uygun olarak d orbitallerine yerleşirler. Ancak, bu yerleşimde iki düzensizlik söz konusudur. Kroma ($Z = 24$) ilişkin elektron dağılımı beklenen $[Ar]4s^23d^4$ dağılımı yerine $[Ar]4s^13d^5$ dağılımında olur. Aynı durum bakır için de geçerli olup elektron dağılımı beklenenin aksine $[Ar]4s^23d^9$ değil $[Ar]4s^13d^{10}$ dur. Bu düzensizliklerin nedeni yarı dolu $3d^5$ ve tam dolu $3d^{10}$ alt kabuklarının biraz daha fazla kararlılık göstermesiyle açıklanabilir. Aynı alt kabukta (burada d) yer alan elektronlar eşit enerjilere sahiptirler, ancak farklı uzaysal dağılım gösterirler. Bu nedenle birbirlerini perdelmeleri oldukça az olup, bağıl olarak $3d^5$ dağılımında olduklarında elektronlar çekirdek tarafından daha güçlü çekilirler. Hund kuralına göre Cr için orbital diyagramı aşağıdaki gibidir.



Krom toplam altı adet eşleşmemiş elektrona sahiptir. Bakırın orbital diyagramı da aşağıdaki gibidir.



Bakırın $3d$ alt kabuğunun bütünüyle dolu olması fazladan bir kararlılık sağlamaktadır. Genel olarak, yarı dolu ve tamamen dolu alt kabuklarda ekstra kararlılık vardır.

Çinkodan ($Z = 30$) kripton (Z = 36) kadar olan elementlerde $4s$ ve $4p$ alt kabukları kurallara uygun olarak dolar. Rubidyumdan ($Z = 37$) itibaren, elektronlar $n = 5$ enerji düzeyine dolmaya başlarlar.

İkinci geçiş metalleri serisinin [itriyum ($Z = 39$)'dan gümüş ($Z = 47$)'ye kadar] elektron dağılımları da bazı düzensizlikler gösterir. Ancak bunların ayrıntıları burada incelenmeyecektir.

Periyodik çizelgenin altıncı periyodu, elektron dağılımı $[Xe]6s^1$ olan sezyum ($Z = 55$) ve $[Xe]6s^2$ olan baryum ($Z = 56$) ile başlar. Bunların ardından lantan ($Z = 57$) gelir. Şekil 7.24'de görüldüğü gibi $6s$ orbitali dolduktan sonra, yeni elektronun $4f$ orbitaline yerleşmesi gerekir. Ancak, $5d$ ve $4f$ orbitallerinin enerjileri birbirlerine çok yakındır. Hatta lantanın $4f$ enerjisi $5d$ 'den biraz daha yüksektir. Bu yüzden lantanın elektron dağılımı $[Xe]6s^24f^1$ yerine $[Xe]6s^25d^1$ olur.

Lantanı izleyen 14 element [seryum ($Z = 58$)'den lütesyum ($Z = 71$)'e kadar] **lantanitler** ya da **nadir toprak metalleri** diye adlandırılır. Nadir toprak metalleri, tam dolmamış $4f$ alt kabuğuna sahip ya da tam dolmamış $4f$ alt kabuğuna sahip katyonları kolayca verebilen elementlerdir. Bu seride, ilave elektronlar $4f$ orbitaline yerleşirler. $4f$ bütünüyle dolduktan sonra bir sonraki elektron, lütesyumda olduğu gibi, $5d$ alt kabuğuna yerleşir. Diğer yandan, gadolinyumun ($Z = 64$) elektron dağılımının $[Xe]6s^24f^7$ yerine $[Xe]6s^24f^75d^1$ olmasına dikkat ediniz. Bunun sebebi, aynen kromda olduğu gibi gadolinyumda da yarı dolu ($4f^7$) orbitalinin fazladan kararlılık sağlamasıdır.

Kuantum Noktaları

Renk, incelenen maddenin miktarına bağlı olmadığı için, normal olarak bir kimyasal maddenin rengini siddet özelliği olarak (s. 11) düşünlürüz. Ancak, bu bölümde öğrendiğimiz gibi, çok küçük kuantum dünyasına girdiğimizde maddenin “normal” davranışını tanımlamak güçleşir.

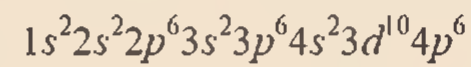
Kuantum noktaları, bir metal veya yarı iletkenlerden oluşan, çapları genellikle bir kaç nanometre büyüklüğünde, maddelerin çok küçük parçalarıdır (yarı iletkenler için Bölüm 21.3’e bakı-

nız). Elektronların bu kadar küçük bir hacme hapsedilmesiyle, izin verilen enerjileri kuantize edilmiş olur. Buna göre, eğer kuantum noktaları daha yüksek enerjili seviyelere uyarılırlarsa, tıpkı atomların yayılma spektrumlarında olduğu gibi elektronlar temel hallerine dönerken yalnızca belirli dalga boylarında ışık yayarlar. Ancak atomlardan farklı olarak, kuantum noktanın boyutu değiştirildiğinde elektronların hapsedildiği hacimde değiştiği için “bir kuantum noktadan çıkan ışık enerjisi, ayarlanabilir

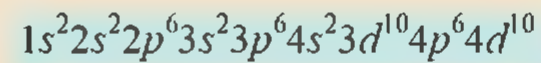


CdSe kuantum noktalarına sahip dispers çözeltilerin soldan sağa doğru 2 nm - 7 nm arası artan çap sırasına göre yaptığı ışımalar.

Çözüm Paladyum 46 elektrona sahiptir. Bu durum için soy gaz göbeği [Kr]’dır. (Kripton, paladyumun yer aldığı periyottan bir önceki periyotta yer alan soy gazdır). [Kr]’ın elektron dağılımı şöyledir,



Bu durumda 46 elektrondan 36’sı Kr dağılımında yer alır. Geriye kalan 10 elektron ise 4d ve 5s orbitalleri arasında dağılım gösterir. Bu durumda (1) $4d^{10}$, (2) $4d^9 5s^1$ ve (3) $4d^8 5s^2$ olmak üzere üç seçenek söz konusudur. Paladyumun diyamanyetik olması, tüm elektronlarının eşleşmiş olduğunu gösterir. Bu sebeple elektron dağılımı:



veya basitçe [Kr] $4d^{10}$ olmalıdır. (2) ve (3)’teki dağılımların her ikisi de paramanyetik özellikte olduklarından doğru seçenek olamazlar.

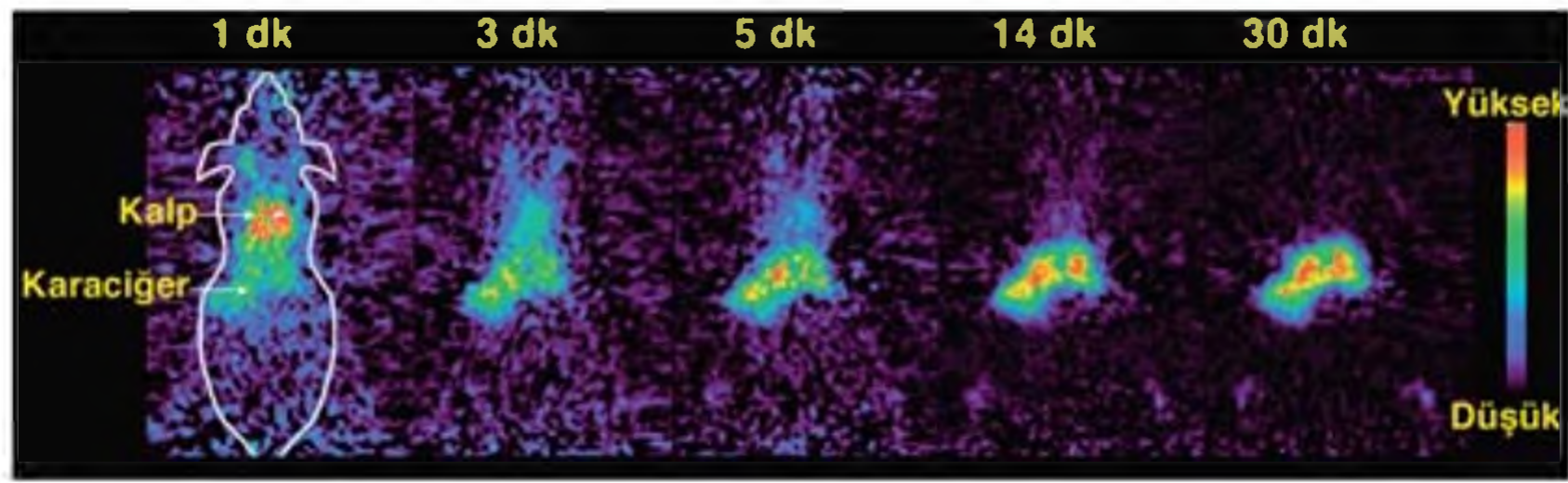
Kontrol Cevabınızı doğrulamak için, (1), (2) ve (3)’e ilişkin orbital dağılımlarını yazınız.

Alıştırma Fosforun (P) temel haldeki elektron dağılımını yazınız.

ya da akord edilebilir". Bu olay, elektronların dalga benzeri davranışlarından dolayıdır. Bir gitarın boyun kısmına basarak ve telini etkili bir şekilde kısaltarak gitar telinin gerilmesiyle (Şekil 7.12'ye bakınız) oluşturulan sesteki frekans değişimine benzer. Bir kuantum noktanın, yayılan ışığın enerjisini düzenleme yeteneği oldukça dikkat çekicidir. Kuantum noktaların çapı sadece birkaç nanometre aralığında değiştirilerek, tek bir kimyasal madde kullanımı ile görünür spektrum elde etmek olasıdır.

Maddenin kuantum davranışının açıklanabilmesi ve nanometre ölçeğinde (atomik seviyede pikometre) incelenebilmesinin yanı sıra, kuantum noktalarının teknoloji ve tıp alanlarında önemli uygulamalarının olması umut vericidir. Kuantum noktaları, yarı iletken malzemelere benzer şekilde LED (ışık yayan diyotlar) olarak işlev yapılabilirler. Ancak bu malzemelerin aksine, kuantum noktaları oldukça dar aralıklarda simetrik ışık ya-

yarlar. Uygun renklerde ışık yayan üç kuantum noktasının birleştirilmesiyle akkor ampuller, hatta flöresan ampuller için gerekenden çok daha düşük enerji maliyetli beyaz ışık üreten cihazlar yapmak mümkündür. Flöresan ampuller, civa içerdikleri için, ekstra çevre sorunu yaratırlar. Kuantum noktalar, ayrıca biyolojik dokuları etiketlemek için kullanılabilirler. Geleneksel biyolojik boyalara göre daha kararlıdır. Kuantum noktalar, kanser hücreleri gibi belirli hedef hücrelere kimyasal olarak modifiye edilebilir. Modifiye edilmiş kuantum noktalar, tümörlerin görüntülenmesini sağladıkları gibi tedavi etme potansiyeline de sahiptirler. Tedavi amacıyla kullanımlarında, ya çok geçirgen kanser hücrelerine eklenerek bu hücreleri yok ederler ya da bilinen bir anti-tümör ajan kuantum noktaya bağlanır. Kuantum noktaların diğer uygulamaları, kuantum hesaplamaları ve güneş enerjisini toplayan fotovoltaik hücrelerdir.



Bir fare kalbi, kuyruk damarına radyoaktif bakır-64 etiketli kuantum noktaların enjekte edilmesi ile görüntülenmiştir. Kuantum noktalar zamanla, kalpten karaciğere doğru göç etmektedir.

Kavramların Değerlendirilmesi

[Ar]4s²3d⁶ temel hal elektron dağılımına sahip olan atomu belirleyiniz.

Anahtar Eşitlikler

$u = \lambda \nu$	(7.1)	Bir dalganın hızının dalga boyu ve frekansla ilişkisi.
$E = h\nu$	(7.2)	Bir kuantum (ve bir fotonun) enerjisinin frekansla ilişkisi.
$E = h\frac{c}{\lambda}$	(7.3)	Bir kuantum (ve bir fotonun) enerjisinin dalga boyu ile ilişkisi.
$h\nu = KE + W$	(7.4)	Fotoelektrik olayı.

$$E_n = -R_{H1} \left(\frac{1}{n^2} \right) \quad (7.5)$$

Hidrojen atomu elektronunun n . seviyesindeki enerjisi.

$$\Delta E = h\nu = R_{H1} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (7.6)$$

Bir elektronun n_i seviyesinden n_f seviyesine geçişinde, bir fotonun soğurduğu ya da yaydığı enerji.

$$\lambda = \frac{h}{mu} \quad (7.8)$$

Bir taneciğin dalga boyunun kütlesi m ve hızı u arasındaki ilişki.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \quad (7.9)$$

Bir taneciğin konumundaki veya momentumundaki belirsizliğin hesaplanması.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Planck tarafından geliştirilen kuantum kuramı, ısıtılan katıların yayınladığı ışımayı başarılı bir şekilde açıklamaktadır. Kuantum kuramına göre, atom ve moleküllerin ısıma enerjileri sürekli değil, küçük enerji paketleri (kuantlar) halindedir ve $E = h\nu$ ilişkisi ile verilir. Burada E yayımlanan ışmanın enerjisi, h Planck sabiti ve ν ısıma frekansdır. Enerji daima $h\nu$ 'nin tam katları ($1 h\nu, 2 h\nu, 3 h\nu, \dots$) olarak yayımlanır.
2. Einstein, kuantum kuramını kullanarak, fotoelektrik olayı diye bilinen fiziğin diğer bir gizemini çözdü. Einstein, ışığın bir parçacık seli (fotonlar) gibi davranabileceğini öne sürdü.
3. Kuantum kuramının uygulanmasıyla, fizikçiler için on dokuzuncu yüzyılın bir başka gizemi, hidrojenin çizgi spektrumu açıklanabilmiştir. Bunun için Bohr, hidrojen atomunun tek elektronuna ait enerjinin kuantlaşmasını gösteren bir model öne sürdü. Bu modele göre hidrojendeki elektron, sadece baş kuantum sayısı olarak adlandırılan tamsayıların belirledikleri enerji değerlerini alabilmekteydi.
4. Bir elektronun en kararlı enerji haline, temel hal denir. En kararlı halden daha yüksek enerji düzeyindeki bir elektron ise, uyarılmış haldedir. Bohr modeline göre, yüksek enerji durumundan (uyarılmış hal) daha düşük enerji durumuna (temel hal ya da daha az enerjili bu uyarılmış hal) düşen bir elektron foton yayar. Foton olarak açığa çıkan bu belirli enerji ise, hidrojen yayılma spektrumundaki çizgileri oluşturur.
5. Einstein'ın ışık için ileri sürdüğü dalga-tanecik özelliği, de Broglie tarafından hareket halindeki tüm maddeleri kapsayacak şekilde genişletildi. Kütlesi m ve hızı u olan hareketli bir taneciğin dalga boyu, de Broglie eşitliğiyle $\lambda = h/mu$ olarak verilmiştir.
6. Çok küçük taneciklerin hareket ve enerjileri Schrödinger eşitliğiyle açıklanabilmektedir. Bu eşitlik, kuantum mekaniğinin ortaya çıkmasına ve fizikte yeni bir çağın açılmasına neden olmuştur.
7. Schrödinger eşitliği hidrojen atomundaki elektronun çekirdek çevresinde bulunabilme olasılığını ve olası enerji düzeylerini verebilmektedir. Bu sonuçların çok elektronlu atomlara uygulanması da oldukça mantıklı sonuçlar vermiştir.
8. Atom orbitali, uzayda elektron yoğunluğu dağılımını (ψ^2) tanımlayan (ψ) nin bir fonksiyonudur. Orbitaler, elektron yoğunluğu ya da sınır yüzey diyagramlarıyla gösterilirler.
9. Bir atomdaki her bir elektron dört kuantum sayısı ile karakterize edilir. Bunlardan baş kuantum sayısı n , orbitalin temel enerji düzeyini ya da kabuğunu; açısal momentum kuantum sayısı ℓ , orbitalin şeklini; manyetik kuantum sayısı m_ℓ , orbitalin uzaydaki yönelmesini; elektron spin kuantum sayısı m_s ise, elektronun eksen etrafındaki dönme yönünü belirtmektedir.
10. Her enerji düzeyindeki s orbitali, küreseldir ve çekirdek üzerinde merkezlenmiştir. $n = 2$ ve daha yüksek düzeyler için, her biri bir çift topa benzeyen ve birbirlerine göre dik konumlanmış üç adet p orbitali vardır. $n = 3$ 'den itibaren, şekilleri ve yönelmeleri daha karmaşık olan beş d orbitali bulunur.
11. Hidrojen atomuna ait elektronun enerjisi sadece baş kuantum sayısına bağlıdır. Çok elektronlu atomlarda ise, elektronun enerjisi baş kuantum sayısı ve açısal momentum sayısının her ikisince belirlenir.
12. Bir atomda herhangi iki elektronun dört kuantum sayısı aynı olamaz (Pauli dışlama ilkesi).
13. Bir alt kabuğun en kararlı elektron düzeni, paralel spine sahip, elektron sayısının en fazla olduğu durumdur [Hund kuralı]. Bir ya da daha fazla eşleşmemiş elektron spinine sahip atomlar paramanyetik özelliktedir. Tüm elektronları eşleşmiş atomlar diyamanyetik özelliktedir.
14. Aufbau ilkesi atomların elektron dağılımlarının inşa edilmesinde kolaylık sağlar. Bu ilke, elektronların atom orbitallerine teker teker eklenmesini öngörmektedir.

Anahtar Kelimeler

Aktinit serisi, s.313	Elektromanyetik ışıma, s.279	Heisenberg belirsizlik ilkesi, s. 295	Pauli dışlama ilkesi, s.305
Atom orbitali, s. 297	Elektromanyetik dalga, s.278	Hund kuralı, s. 307	Sınır yüzey diyagramı, s.300
Aufbau ilkesi, s.310	Elektron dağılımı, s.304	Kuantum, s. 280	Soy gaz göbeği, s.310
Çizgi spektrumu, s.284	Elektron yoğunluğu, s.297	Kuantum sayıları, s.297	Temel düzey (ya da hal), s.286
Çok elektronlu atomlar, s. 297	Fotoelektrik olayı, s.281	Lantanit serisi, s.312	Uyarılmış düzey (ya da hal), s. 286
Dalga, s.277	Foton, s.281	Nadir toprak metalleri serisi, s. 312	Yayılma spektrumu, s.284
Dalga boyu (λ), s.277	Frekans (ν), p.277	Paramanyetik, s.306	
Diyamanyetik, s. 306	Geçiş metalleri, s. 312		
Düğüm, s. 289	Genlik, s.277		

Sorular ve Problemler

Elektromanyetik Işıma ve Kuantum Kuramı

Tarama Soruları

- 7.1 Dalga nedir? Dalgalarla ilgili olarak şu terimleri açıklayınız: dalga boyu, frekans ve genlik.
- 7.2 Elektromanyetik dalgalarda dalga boyu ve frekans birimleri nedir? Metre/saniye ve mil/saat cinsinden ışık hızı nedir?
- 7.3 En uzun dalga boyundan başlayarak, en kısa dalga boyuna kadar elektromanyetik ışıma türlerini sıralayınız.
- 7.4 Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde en düşük ve en yüksek dalga boylarını veriniz.
- 7.5 Planck'ın kuantum kuramını ve kuantumun ne olduğunu ayrıntılarıyla açıklayınız. Planck sabitinin birimi nedir?
- 7.6 Kuantlaşma kavramını gösteren ve günlük yaşamda sık karşılaşılan iki örnek veriniz.

Problemler

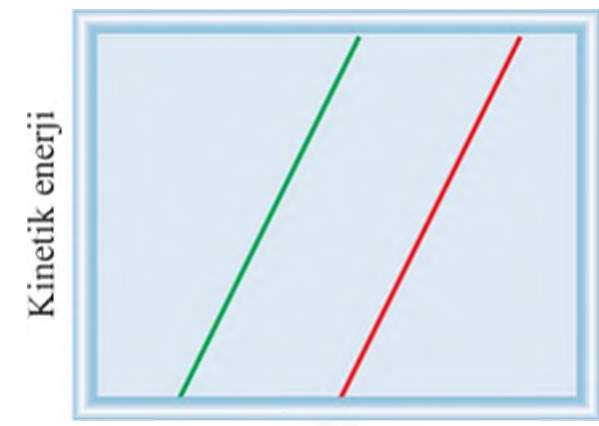
- 7.7 (a) Frekansı $8,6 \times 10^{13}$ Hz olan ışığın nanometre cinsinden dalga boyu nedir? (b) Dalga boyu 566 nm olan ışığın Hz cinsinden frekansı nedir?
- 7.8 (a) Dalga boyu 456 nm olan ışığın frekansı nedir? (b) Frekansı $2,45 \times 10^9$ Hz (mikrodalga fırınlarında kullanılan türde bir ışıma) olan bir ışımanın nm cinsinden dalga boyu nedir?
- 7.9 Mars'la Dünya arasındaki ortalama uzaklık $1,3 \times 10^8$ m'dir. Marsta bulunan Viking uzay aracından yollanan bir TV resminin dünyaya ulaşması ne kadar zaman alır? (1 mil = 1.61 km)

- 7.10 Bir radyo dalgasının Venüs'ten Dünya'ya yolculuğu kaç dakika alır? (Venüs ile Dünya arasındaki ortalama uzaklık = 28 milyon m'dir). (1 mil = 1.61 km)
- 7.11 Zamanın SI birimi saniyedir. Bir saniye, sezyum atomunun belirli bir ışıma sürecine ilişkin 9192631770 döngü olarak tanımlanır. Bu ışımanın dalga boyunu (üç anlamlı sayı ile) hesaplayınız. Bulunan dalga boyu, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde yer alır?
- 7.12 Uzunluğun SI birimi metredir. Bir metre, kripton atomundan belirli bir enerji ile yayınlanan ışıma dalga boyunun 1650763,73 katına karşılık gelen bir uzunluktur. Bu ışımanın frekansını (üç anlamlı sayı ile) hesaplayınız.

Fotoelektrik Olayı

Tarama Soruları

- 7.13 Foton nedir? Einstein'ın fotoelektrik olayını açıklaması, elektromanyetik ışımanın tanecik-dalga özelliğine sahip olduğunun öne önerilmesinde nasıl bir rolü olmuştur?
- 7.14 A (yeşil çizgi) ve B (kırmızı çizgi) gibi iki farklı metalin fotoelektrik etkisini gösteren aşağıdaki grafiği göz önüne alınız. (a) Hangi metal daha büyük iş fonksiyonuna sahiptir? (b) Çizgilerin eğimi, ne anlatır?



Problemler

- 7.15 Dalga boyu 624 nm olan bir fotonun enerjisini joule cinsinden hesaplayınız.
- 7.16 Gökyüzünün mavi rengi, güneş ışığının hava molekülleri tarafından saçılmasıyla oluşur. Mavi ışığın frekansı $7,5 \times 10^{14}$ Hz'dir. (a) Bu ışıma ile ilgili dalga boyunu nm cinsinden hesaplayınız. (b) Bu frekansa sahip tek bir fotona ilişkin enerjiyi joule cinsinden hesaplayınız.
- 7.17 Bir fotonun frekansı $6,0 \times 10^4$ Hz'dir. (a) Bu fotonun dalga boyunu nm cinsinden hesaplayınız. Bu frekans görünür bölgeye mi düşer? (b) Bu fotonun enerjisini joule cinsinden hesaplayınız. (c) Bu frekansa sahip bir mol fotonun enerjisini joule cinsinden hesaplayınız.
- 7.18 Enerjisi $1,0 \times 10^3$ kJ/mol olan ışımanın dalga boyu nm cinsinden nedir? Bu ışıma, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde bulunur?
- 7.19 Bakırın yüksek enerjili elektronlarla bombardımanı sonunda X-ışınları yayımlanmaktadır. X-ışınlarının dalga boyu 0,154 nm ise fotonlara ilişkin enerjiyi joule cinsinden hesaplayınız.
- 7.20 Elektromanyetik ışımanın belirli bir frekansı $8,11 \times 10^{14}$ Hz'dir. (a) Nanometre ve metre cinsinden dalga boyu nedir? (b) Elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde yer alır? (c) Bu ışımanın tek bir kuantumunun enerjisi (joule cinsinden) ne olur?
- 7.21 Potasyumun iş fonksiyonu $3,68 \times 10^{-19}$ J'dir. (a) Metalden elektron çıkarmak için gerekli ışığın minimum frekansı nedir? (b) Işınlama için $8,62 \times 10^{14}$ s⁻¹ değerine eşit frekanstaki ışın kullanıldığında, çıkarılan elektronların kinetik enerjisini hesaplayınız?
- 7.22 Altının metal yüzeyine, $2,11 \times 10^{15}$ s⁻¹ eşit frekanstaki ışık gönderildiğinde, fırlatılan elektronların kinetik enerjisi $5,83 \times 10^{-19}$ J olarak bulunmuştur. Altının iş fonksiyonu nedir?

Bohr Hidrojen Atomu Kuramı**Tarama Soruları**

- 7.23 (a) Enerji düzeyi nedir? Temel hal ve uyarılmış hal enerji düzeyleri arasındaki farkı açıklayınız. (b) Yayılma spektrumları nelerdir? Çizgi spektrumu, sürekli spektrumdan nasıl bir farklılık gösterir?
- 7.24 (a) Bohr hidrojen atomu kuramını açıklayınız. Bu kuram yayılma spektrumunun ortaya çıkışını nasıl açıklar? Bohr kuramı klasik fizik kavramlarından nasıl bir farklılık gösterir?

Problemler

- 7.25 Elementler foton yayımladıklarında kendilerine özgü renk verirler, nedenini açıklayınız.

- 7.26 Bazı bakır bileşikleri alevle ısıtıldıklarında yeşil ışık yayımlarlar. Bu ışığın tek bir dalga boyu mu veya birden fazla dalga boyunun karışımı mı olduğuna nasıl karar verirsiniz?
- 7.27 Floresan bir madde görünür bölgedeki ışığı soğuktan sonra, mor ötesi bölgede ışıma yapabilir mi? Açıklayınız.
- 7.28 Astronomların, yıldızların yayınladıkları ışımaları inceleyerek, çok uzaktaki yıldızlarda hangi elementlerin bulunduğu bilmelerinin nasıl mümkün olduğunu açıklayınız.
- 7.29 Hayali bir atoma ilişkin enerji düzeyleri aşağıda verilmektedir.
- | | | |
|-------|-------|--------------------------|
| E_4 | _____ | $-1,0 \times 10^{-19}$ J |
| E_3 | _____ | $-5,0 \times 10^{-19}$ J |
| E_2 | _____ | -10×10^{-19} J |
| E_1 | _____ | -15×10^{-19} J |
- (a) Bir elektronun E_1 seviyesinden E_4 seviyesine uyarılmasına ilişkin fotonun dalga boyu nedir? (b) Bir elektronun E_2 seviyesinden E_3 seviyesine uyarılmasına ilişkin fotonun enerjisi (joule cinsinden) ne olmalıdır? (c) Bir elektronun E_3 den E_1 düzeyine geçişinde atom ışıma yapar. Bu işlemde, yayımlanan fotonun dalga boyunu hesaplayınız.
- 7.30 Balmer serisinin ilk çizgisi 656,3 nm'de gözlenir. Bu spektrum çizgisinin ortaya çıkmasına ilişkin söz konusu düzeyler arasındaki enerji farkı nedir?
- 7.31 Elektronu $n = 5$ düzeyinden $n = 3$ düzeyine geçen bir hidrojen atomunun yayınladığı fotona ilişkin dalga boyunu (nm cinsinden) hesaplayınız.
- 7.32 Elektronu $n = 4$ düzeyinden $n = 2$ düzeyine geçen bir hidrojen atomunun yayınladığı fotonun frekansı (Hz) ve dalga boyunu (nm) hesaplayınız.
- 7.33 Aydınlatma amacıyla sıklıkla kullanılan (sokak lambaları gibi) sodyum lambası sarı ışığının spektral analizi yapılmış ve bu ışığın 589,0 nm ve 589,6 nm dalga boylarında iki fotondan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu dalga boylarına sahip iki foton arasındaki enerji farkını joule cinsinden hesaplayınız.
- 7.34 Hidrojen atomunun n_i düzeyindeki bir elektronu $n = 2$ düzeyine geçiş yapmıştır. Bu geçişe ilişkin fotonun dalga boyu 434 nm olduğuna göre, n_i nin değeri nedir?

Tanecik Dalga İkiliği**Tarama Soruları**

- 7.35 “Madde ve ışıma, ikili tabiata sahiptirler” ifadesini açıklayınız (dalga-tanecik özelliği).
- 7.36 Hidrojen atomu elektronunun kuantlaşmış enerjilere sahip olduğu, de Broglie hipotezi ile nasıl açıklanır?
- 7.37 Eşitlik 7.8 sadece atom ve elektron gibi çok küçük tanecikler için geçerli olmasına karşın, makroskopik cisimler için neden geçersizdir? Açıklayınız?

- 7.38 (a) Hidrojen atomu ve helyum atomu aynı hızla hareket etseler, iki atomun birbirine göre dalga boyları ne olur? (b) Hidrojen atomu ve helyum atomu aynı kinetik enerjiye sahip olsalar, iki atomun birbirine göre dalga boyları ne olur?

Problemler

- 7.39 Oda sıcaklığında hava moleküllerinin hızına yakın hızla hareket eden nötronlara, termal nötronlar denir. Bu hızlandırılmış nötronlar ^{235}U izotopları arasındaki çekirdek zincir tepkimelerini başlatmakta çok etkindirler. 7.00×10^2 m/s hızla hareket eden bir nötron demetindeki nötronun dalga boyunu (nm) hesaplayınız (Bir nötronun kütlesi = 1.675×10^{-27} kg).
- 7.40 Protonlar tanecik hızlandırıcıları yardımıyla, ışık hızına yakın bir hıza ulaştırılabilmektedir. Hızı 2.90×10^8 m/s olan bu tür bir protonun dalga boyunu (nm cinsinden) hesaplayınız (Proton kütlesi = 1.673×10^{-27} kg).
- 7.41 Kütlesi 12.4 g ve uçuş hızı 1.20×10^2 mil/saat olan bir kuşun de Broglie dalga boyu (cm cinsinden) ne olur? (1mil = 1.61 km).
- 7.42 Kütlesi 2.5 g ve hareket hızı x 5 mil/saat olan bir pinpon topunun de Broglie dalga boyunu (nm cinsinden) hesaplayınız.

Kuantum Mekaniği

Tarama Soruları

- 7.43 Bohr kuramının eksiklikleri nelerdir?
- 7.44 Heisenberg belirsizlik ilkesi nedir? Schrödinger eşitliği nedir?
- 7.45 Dalga fonksiyonunun fiziksel anlamı nedir?
- 7.46 Atomun kuantum mekanik tanımında; elektronun konumunun belirlenmesinde elektron yoğunluğu kavramından nasıl yararlanılır?

Atom Orbitaleri

Tarama Soruları

- 7.47 Atom orbitali nedir? Atom orbitali ile yörünge arasındaki fark nedir?
- 7.48 s , p ve d orbital şekillerini açıklayınız. Bu orbitaller n, ℓ ve m_ℓ kuantum sayıları ile nasıl ilişkilendirilebilir?
- 7.49 Hidrojen orbitallerini enerji artışına göre sıralayınız.
- 7.50 s , p ve d orbitallerinin karakteristik özelliklerini açıklayınız. Şu orbitallerden hangilerinin var olamayacağını belirtiniz: $1p$, $2s$, $2d$, $3p$, $3d$, $3f$, $4g$?
- 7.51 Bir atom orbitalinin gösteriminde sınır yüzey diyagramları neden yararlıdır?
- 7.52 Bir atomun elektronunu karakterize etmede kullanılan dört kuantum sayısını açıklayınız.

- 7.53 Bir kabuğu hangi kuantum sayısı gösterir? Bir alt kabuğu hangi kuantum sayısı gösterir?
- 7.54 Dört kuantum sayısından (n, ℓ, m_ℓ, m_s) hangisi (a) hidrojen atomu ve çok-elektronlu bir atomun elektron enerjisini (b) bir orbitalin büyüklüğünü (c) bir orbitalin şeklini (d) bir orbitalin uzaydaki yönünü belirtir.

Problemler

- 7.55 Bir atomun elektronu, $n = 2$ enerji düzeyindedir. Alabileceği olası ℓ ve m_ℓ değerlerini sıralayınız.
- 7.56 Bir atomun elektronu, $n = 3$ enerji düzeyindedir. Alabileceği olası ℓ ve m_ℓ değerlerini sıralayınız.
- 7.57 Aşağıdaki orbitallerin kuantum sayılarını veriniz: (a) $2p$, (b) $3s$, (c) $5d$.
- 7.58 Aşağıdaki orbitallerde yer alan bir elektronun dört kuantum sayısını veriniz: (a) $3s$, (b) $4p$, (c) $3d$.
- 7.59 $1s$ ve $2s$ orbitalleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar nelerdir?
- 7.60 $2p_x$ ve $2p_y$ orbitalleri arasındaki fark nedir?
- 7.61 $n = 5$ olduğunda, bu baş kuantum sayısının tüm alt kabuk ve orbitallerini sıralayınız.
- 7.62 $n = 6$ olduğunda, bu baş kuantum sayısının tüm alt kabuk ve orbitallerini sıralayınız.
- 7.63 Şu orbitallerde yer alabilen toplam elektron sayısını hesaplayınız. (a) bir tane s orbitali, (b) üç tane p orbitali, (c) beş tane d orbitali, (d) yedi tane f orbitali.
- 7.64 Aynı baş kuantum sayısına (n) sahip orbitallerde yer alabilecek toplam elektron sayısı nedir?
- 7.65 Şu alt kabuklarda yer alabilecek en fazla elektron sayısını belirtiniz: $3s$, $3d$, $4p$, ~~$4f$~~ , $5f$.
- 7.66 (a) N ($Z = 7$) için toplam p elektronlarını bulunuz. (b) Si ($Z = 14$) için toplam s elektronlarını bulunuz. (c) S ($Z = 16$) için toplam $3d$ elektronlarını bulunuz.
- 7.67 Hidrojen atomunun ilk dört temel enerji düzeyindeki mümkün olan tüm orbitallerin bir çizelgesini yapınız. Bu orbitallerin türünü (s , p gibi) belirterek; her birinde kaç orbital olduğunu yazınız.
- 7.68 Hidrojen atomunun $3s$, $3p$ ve $3d$ orbitalleri aynı enerjiye sahip olmalarına karşın, çok elektronlu atomlarda farklı enerjilere sahiptirler. Neden?
- 7.69 Aşağıda verilen hidrojen orbital çiftlerinden hangisinin daha yüksek enerjili olduğunu belirtiniz: (a) $1s$, $2s$; (b) $2p$, $3p$; (c) $3d_{xy}$, $3d_{yz}$; (d) $3s$, $3d$; (e) $4f$, $5s$.
- 7.70 Aşağıda verilen çok elektronlu atom orbital çiftlerinden hangisinin daha düşük enerjili olduğunu belirtiniz: (a) $2s$, $2p$; (b) $3p$, $3d$; (c) $3s$, $4s$; (d) $4d$, $5f$.

Elektron Dağılımı

Tarama Soruları

- 7.71 Elektron dağılımı nedir? Elementlerin elektron dağılımlarının yazılmasında, Pauli dışlama ilkesi ve Hund kuralının rolleri nedir?
- 7.72 $4d^6$ simgesinin anlamını açıklayınız.
- 7.73 Diyamanyetik ve paramanyetik terimlerinin anlamlarını açıklayınız. Diyamanyetik ve paramanyetik elementlere birer örnek veriniz. “Elektronların eşleşmesi” sözü ile neyi kastederiz?
- 7.74 Atomda “elektronların perdelenmesi” ile ne kastedilir? Li atomunu ele alarak; bir atomdaki elektronların enerjileri üzerinde perdeleme etkisini açıklayınız.

Problemler

- 7.75 Bir atoma ait, aşağıdaki kuantum sayıları serilerinden hangisi kabul edilemez? Nedenini açıklayınız: (a) $(1, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, (b) $(3, 0, 0, +\frac{1}{2})$, (c) $(2, 2, 1, +\frac{1}{2})$, (d) $(4, 3, -2, +\frac{1}{2})$, (e) $(3, 2, 1, 1)$.
- 7.76 Aşağıda temel hal elektron dağılımları yanlış verilmiştir. Her biri için yanlış belirleyerek; doğru dağılımı yazınız.
 Al: $1s^2 2s^2 2p^4 3s^2 3p^3$
 B: $1s^2 2s^2 2p^5$
 F: $1s^2 2s^2 2p^6$
- 7.77 Atom numarası 73 olan bir elementin diyamanyetik ya da paramanyetik olduğunu gösteriniz.
- 7.78 Şu atomların her birinde kaç tane eşleşmemiş elektron bulunduğunu belirtiniz: B, Ne, P, Sc, Mn, Se, Kr, Fe, Cd, I, Pb.

Yerleştirme İlkesi

Tarama Soruları

- 7.79 Aufbau ilkesinin; periyodik çizelgedeki elementlerin sınıflandırılmalarındaki rolünü açıklayınız.
- 7.80 Verilen şu sınıflandırmalara giren elementlerin karakteristik özelliklerini açıklayınız: geçiş metalleri, lantanitler, aktinitler.
- 7.81 Asal gaz göbeği nedir? Elektron dağılımlarının yazılmasını nasıl basitleştirirler?
- 7.82 Osmiyum elementinin grup ve periyodu nedir?
- 7.83 Şu terimleri tanımlayınız ve her birine örnek veriniz: geçiş metalleri, lantanitler, aktinitler.
- 7.84 Cu ve Cr’ın temel hal elektron dağılımlarının neden beklenenden farklı olduğunu açıklayınız.
- 7.85 Asal gaz göbeğiyle ne kastedildiğini açıklayınız. Xe göbeğinin elektron dağılımını yazınız.
- 7.86 Şu ifadenin doğruluğunu inceleyiniz: “Bir atomun iki elektronuna ait dört kuantum sayısının da aynı olma olasılığı sıfırdır.”

Problemler

- 7.87 Aufbau ilkesini kullanarak, selenyumun temel hal elektron dağılımını yazınız.
- 7.88 Aufbau ilkesini kullanarak, teknetyumun temel hal elektron dağılımını yazınız.
- 7.89 Şu elementlerin temel hal elektron dağılımlarını yazınız: B, V, Ni, As, I, Au
- 7.90 Şu elementlerin temel hal elektron dağılımlarını yazınız: Ge, Fe, Zn, Ni, W, Tl.
- 7.91 Nötr bir atomun elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ dir. Elektronların her birinin tüm kuantum sayılarını yazınız. Bu elementin adı nedir?
- 7.92 Şu verilenlerden hangisi en fazla sayıda eşleşmemiş elektrona sahiptir? S^1 , S ve S . Açıklayınız.

İlave Problemler

- 7.93 Bir numune tüpünde temel haldeki hidrojen atomları bulunmaktadır. Bir öğrenci, bu atomları monokromatik ışık (yani tek dalga boyundaki ışık) ile ıslamlamaktadır. Bu ıslamlama ile görünür bölgede sadece iki yayılma spektrum çizgisi gözlenirse, bu ıslamanın dalga boyu (veya dalga boyları) nedir?
- 7.94 Bir lazer, 532 nm dalga boyunda bir ışın demeti üretmektedir. Güç çıkışı 25.0 mW ise lazer saniyede kaç foton yayar? ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s.}$)
- 7.95 Sezyum iyonu içeren bir bileşiğin bunzen beki alevinde ısıtılmasıyla, enerjisi $4.30 \times 10^{-19} \text{ J}$ olan fotonlar yayımlanmaktadır. Sezyum alevi ne renktedir?
- 7.96 Verilen şu ifadelerin doğruluğunu inceleyiniz. (a) Bir yörüngedeki hidrojen atomu elektronu, çekirdeğe 100 pm’den daha yakına asla getirilemez. (b) Atom yayılma spektrumları, elektronların düşük enerji seviyesinden daha yüksek enerji seviyelerine geçişlerinden kaynaklanır. (c) Çok elektronlu atom, bir tür gezegenleri olan güneş sistemi gibi davranır.
- 7.97 p, d, \dots atomik orbitalleri açık bir biçimde küresel simetriye sahip olmamalarına rağmen, atomların şeklinin küresel olduğunu düşünmenin temeli nedir?
- 7.98 Aşağıda verilen kuantum sayılarına sahip bir atomun maksimum elektron sayısı kaçtır? Elektronların bulunabileceği orbitalleri belirtiniz. (a) $n = 2, m_s = +\frac{1}{2}$; (b) $n = 4, m_\ell = +1$; (c) $n = 3, \ell = 2$; (d) $n = 2, \ell = 0, m_s = -\frac{1}{2}$; (e) $n = 4, \ell = 3, m_\ell = -2$.
- 7.99 Aşağıda adları verilen kişilerin kuantum kuramının gelişimine sağladıkları katkıları açıklayınız: Bohr, de Broglie, Einstein, Planck, Heisenberg, Schrödinger.
- 7.100 Elektron mikroskopunun işleyişinde elektronların hangi özelliklerinden yararlanır?

- 7.101 Bir fotoelektrik deneyi yapan öğrenci, bir metalden elektron koparmak için gerekenden daha büyük bir frekansa sahip ışık kaynağı kullanmıştır. Ancak, uzun bir süre metalin aynı yüzeyine sürekli ışın gönderdikten sonra, fırlatılan elektronların maksimum kinetik enerjisinin ışığın frekansı sabit tutulduğu halde, azaldığını fark eder. Bu davranışı nasıl açıklayabilirsiniz?
- 7.102 Bir beyzbol oyuncusunun fırlattığı topun hızı, 100 mil/saat olarak saptanmıştır. (a) Kütlesi 0.141 kg olan bu hızdaki bir beyzbol topunun dalga boyunu (nm cinsinden) hesaplayınız. (b) Aynı hızı sahip bir hidrojen atomunun dalga boyu nedir? (1 mil = 1609 m.)
- 7.103 Bir öğrenci sezyum metalinin temiz bir parçası üzerine görünür ışın göndererek fotoelektrik deney gerçekleştirmiştir. Elde ettiği aşağıdaki çizelge, metalden çıkarılan elektronların kinetik enerjilerini (KE) dalga boyunun (λ) fonksiyonu olarak göstermektedir. İş fonksiyonu ve Planck sabitini grafiksel olarak belirleyiniz.

λ (nm)	405	435.8	480	520	577.7
KE (J)	2.360×10^{-19}	2.029×10^{-19}	1.643×10^{-19}	1.417×10^{-19}	1.067×10^{-19}

- 7.104 (a) Açısız momentum kuantum sayısı $\ell = 1$ olduğunda, baş kuantum sayısının (n) olabileceği en küçük değeri nedir? (b) $n \leq 4$ ve manyetik kuantum sayısı (m_ℓ) sıfır olduğunda, açısız momentum kuantum sayısının (ℓ) olası değerleri nelerdir?
- 7.105 Sadece temel hal elektron dağılımı göz önüne alındığında, diyamanyetik elementler mi yoksa paramanyetik elementler mi daha fazladır? Açıklayınız.
- 7.106 Bir yakut lazeri, dalga boyu 633 nm olan bir puls ışımasını, 1.00×10^{-9} s boyunca üretmektedir. (a) Eğer bu lazer puls başına 0.376 J enerji üretiyorsa, her pulsda kaç foton üretilmektedir? (b) Puls başına bu lazerin oluşturduğu gücü (Watt cinsinden) hesaplayınız. (1 W = 1 J/s.)
- 7.107 368 g su, karbon dioksit lazerinden 1.06×10^4 nm dalga boyundaki kızılötesi ışımayı soğutmaktadır. Soğurulan tüm ışımanın ısıya dönüştüğünü varsayarak, suyun sıcaklığını 5.00°C artırmak için gereken foton sayısını hesaplayınız.
- 7.108 Suyun foto ayrışması ile,



hidrojen üretilebileceği önerilmiştir. Bu tepkimeye ait $\Delta H^\circ_{\text{tepki}}$ değeri, termokimya verilerinden hesaplanmış ve ayrılan bir mol su için 285.8 kJ bulunmuştur. Bu enerjiyi sağlayabilecek maksimum dalga boyunu (nm cinsinden) hesaplayınız. Bu işlem için

güneş ışığını enerji kaynağı olarak kullanmak bir seçenek olabilir mi?

- 7.109 Lyman ve Balmer serilerinin spektrum çizgileri örtüşmezler. Bu durumu kanıtlamak için, Lyman serisinin en uzun dalga boyunu ve Balmer serisinin en kısa dalga boyunu hesaplayınız.
- 7.110 20°C 'de hız karelerinin ortalamasının karakökü hızla hareket eden bir atomun dalga boyu 3.28×10^{-11} m'dir. Bu atomu belirleyiniz.
- 7.111 Bazı güneş gözlüklerinde lenslere eklenmiş küçük gümüş klorür (AgCl) kristalleri vardır. Lensler uygun dalga boyunda ışığa maruz kaldıkları zaman, aşağıdaki tepkime gerçekleşir:



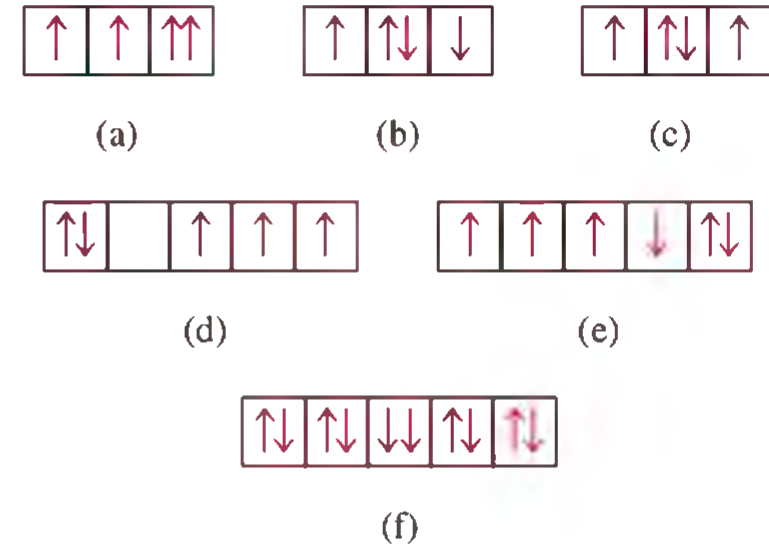
Oluşan gümüş (Ag) atomları, parlamayı azaltan homojen gri bir renk verirler. Yukarıdaki tepkimenin ΔH değeri 248 kJ/mol ise, bu işleme neden olan ışığın maksimum dalga boyunu hesaplayınız.

- 7.112 He^+ iyonu tek elektron içermesi nedeniyle hidrojen benzeri bir iyondur. He^+ iyonunun Balmer serisindeki ilk dört geçişi için dalga boylarını küçükten büyüğe doğru hesaplayınız. Bu dalga boylarını H atomundaki aynı geçişlerle kıyaslayınız. Farklılıkları üzerinde yorum yapınız (He^+ için Rydberg sabiti 8.72×10^{-18} J'dır).
- 7.113 Stratosferdeki ozon (O_3) güneşten gelen zararlı ışımaları soğurarak parçalanmaya uğrar: $\text{O}_3 \longrightarrow \text{O} + \text{O}_2$. (a) Çizelge 6.4'den yararlanarak, bu süreçle ilişkili ΔH° değerini hesaplayınız. (b) Ozonun fotokimyasal ayrışmasına neden olan enerjiye sahip fotonların en uzun dalga boyunu (nm cinsinden) hesaplayınız.
- 7.114 İnsan gözündeki retinanın gelen ışığı algılaması için, üzerine düşen ışık enerjisinin en az 4.0×10^{-17} J olması gereklidir. Dalga boyu 600 nm olan fotonlardan kaç tanesi bu enerjiye karşılık gelir?
- 7.115 Helyum ve ksenon atomları aynı kinetik enerjiye sahiptir. Helyum atomunun ksenon atomuna de Broglie dalga boyu oranını hesaplayınız.
- 7.116 Lazer, retina tedavisinde kullanılır. Lazer ışımının dalga boyu 514 nm ve gücü 1.6 W'dır. Ameliyat sırasında, 0.060 s lazer verilirse, lazer tarafından yayılan fotonların sayısını hesaplayınız (1 W = 1 J/s).
- 7.117 Hidrojen atomundaki uyarılmış elektron temel hale iki farklı şekilde dönebilir. (a) Dalga boyu λ_1 olan bir fotonun yayımlandığı doğrudan bir geçişle ve (b) dalga boyu λ_2 olan bir fotonun yayını sonucu önce uyarılmış ara hale, daha sonra λ_3 foton yayınıyla temel hale geçiş. λ_1 dalga boyunu λ_2 ve λ_3 dalga boylarına bağlayan bir eşitlik türetiniz.

- 7.118** Bir fotoelektrik deneyinde, temiz bir metal yüzeye 450 nm (mavi ışık) ve 560 nm (sarı ışık) de iki ayrı lazer tutularak, fırlatılan elektronların sayıları ve kinetik enerjileri ölçülmektedir. Bu ışıklardan hangisi yüzeyden daha fazla elektron çıkmasına neden olur? Bu ışıklardan hangisi kinetik enerjisi daha yüksek elektronlar çıkarır? Her iki lazer tarafından metal yüzeyine verilen enerjinin aynı olduğunu ve frekanslarının eşik frekanstan fazla olduğunu varsayınız.
- 7.119 Verilen şu orbitallerinin şekillerini (sınır yüzeyler) çizin: (a) $2p_y$, (b) $3d_{z^2}$, (c) $3d_{x^2-y^2}$ (çiziminizde koordinat eksenlerini gösteriniz).
- 7.120** Bu bölümde açıklanan elektron dağılımları, gaz haldeki atomların temel hallerine aittir. Bir atom, enerji soğurabilir ve elektronlarını daha yüksek enerjili orbitallere çıkarabilir. Bu durumda, atomun uyarılmış halde olduğunu söyleriz. Aşağıda bazı uyarılmış atomların elektron dağılımları verilmiştir. Bu atomları belirleyiniz ve temel hal elektron dağılımlarını yazınız:
- (a) $1s^1 2s^1$
 (b) $1s^2 2s^2 2p^2 3d^1$
 (c) $1s^2 2s^2 2p^6 4s^1$
 (d) $[\text{Ar}] 4s^1 3d^{10} 4p^4$
 (e) $[\text{Ne}] 3s^2 3p^4 3d^1$
- 7.121 Aşağıda elektron dağılımları verilen atomların orbital diyagramlarını çizin:
- (a) $1s^2 2s^2 2p^5$
 (b) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
 (c) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^7$
- 7.122** Rutherford ve arkadaşları. Kesim 2.2'de açıklandığı gibi, çekirdek yapısını araştırmak için alfa parçacıkları yerine elektron kullanmış olsalardı, ne keşfetmiş olurlardı?
- 7.123 Bilim insanları, yıldızlar arasında kuantum sayılıları (n) yüzlerce olan hidrojen atomları buldular. Bir hidrojen atomunun, $n = 236$ seviyesinden $n = 235$ seviyesine geçişinde yayılan ışığın dalga boyunu hesaplayınız. Bu dalga boyu, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde yer alır?
- 7.124** 20°C 'de hızı, hız karesi ortalamasının kareköküne eşit olan helyum atomunun, dalga boyunu hesaplayınız.
- 7.125 İyonlaşma enerjisi, bir atomdan bir elektronu uzaklaştırmak için gereken minimum enerjidir. Genellikle kJ/mol birimiyle ifade edilir ve bir mol atomdan bir mol elektron uzaklaştırmak için gereken enerjidir (kJ). (a) Hidrojen atomunun iyonlaşma enerjisini hesaplayınız. (b) Aynı hesaplamayı elektronların $n = 2$ 'den uzaklaştırıldığını varsayarak tekrarlayınız.
- 7.126** Hidrojen atomu elektronu temel halden $n = 4$ düzeyine uyarılmıştır. Buna göre aşağıdaki ifadelerin

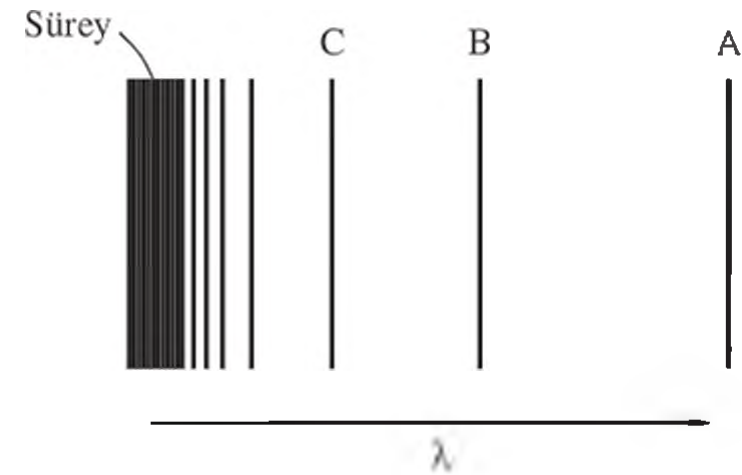
doğrulukları hakkında (doğru ya da yanlış olarak) hüküm veriniz.

- (a) $n = 4$ ilk uyarılmış haldir.
 (b) Temel haldeki bir elektrona kıyasla, $n = 4$ düzeyindeki bir elektronun ayrılması (iyonlaşması) daha fazla enerji gerektirir.
 (c) Temel haldeki bir elektrona kıyasla, $n = 4$ düzeyindeki bir elektron (ortalama olarak) çekirdekten daha uzaktır.
 (d) Elektronun $n = 4$ düzeyinden $n = 1$ düzeyine geçişinde yayınladığı ışığın dalga boyu, $n = 4$ den $n = 2$ ye geçişe göre daha uzundur.
 (e) Hidrojen atomunun $n = 1$ 'den $n = 4$ 'e uyarılması için soğurduğu enerjiye ilişkin dalga boyu ile $n = 4$ den $n = 1$ 'e geçişteki yayılmaya ilişkin dalga boyu aynıdır.
- 7.127 Bir elementin iyonlaşma enerjisi 412 kJ / mol 'dür (Problem 7.125'e bakınız). Ancak, bu elementin atomları birinci uyarılmış halde olduğunda, iyonlaşma enerjisi sadece 126 kJ / mol 'dür. Bu bilgilere dayanarak, birinci uyarılmış durumdan temel duruma geçişte yayılan ışığın dalga boyunu hesaplayınız.
- 7.128** Alveol, akciğerlerdeki küçük hava kesecikleridir ve ortalama çapı $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ (Problem 5.136'ya bakınız). Bir oksijen molekülünün ($5.3 \times 10^{-26} \text{ kg}$) kese içinde tutulduğunu düşünün. Oksijen molekülünün hızındaki belirsizliği hesaplayınız. (İpucu: molekülün konumundaki maksimum belirsizlik, kesenin çapı ile verilir.)
- 7.129 $5.0 \times 10^2 \text{ g}$ buzun erimesini sağlamak için dalga boyu 660 nm olan kaç fotonun soğurulması gerekir? Bir foton ortalama kaç buz molekülünün (H_2O) suya dönüşmesini sağlar? (İpucu: 0°C 1g buzun erimesi için 334 J gerekir).
- 7.130** Bazı elementlerin temel hal elektron dağılımlarını gösteren orbital diyagramlarının bir kısmı, aşağıda gösterilmiştir. Bunların hangileri Pauli dışlama ilkesine uymaz? Hangileri Hund kuralına uymaz?



- 7.131 Cildin bronzlaşması UV (320 – 400 nm) ışınlarıyla sağlanır. Bu 80 nm'lik aralıkta (400–320 nm), yer-yüzünün santimetre karesi başına saniyede 2.0×10^{16} foton düşmektedir. Buna göre 2.0 saat boyunca insan vücudunun 0.45 m^2 lik bir bölümü bu ışınmaya

- maruz kaldığında, soğuracağı enerjiyi (joule cinsinden) hesaplayınız. Gelen ışımanın yarısının soğurulduğunu ve diğer yarısının ise yansıdığını varsayınız. (İpucu: Foton enerjisinin hesabı için, ortalama dalga boyunu 360 nm alınız).
- 7.132** Güneşin etrafında “korona” denilen ve gazlardan oluşan beyaz bir halka bulunur. Bu halka güneş tutulması sırasında görünür hale gelir. Koronadaki sıcaklık milyonlarca °C’ye ulaşır. Bu sıcaklık, molekülleri parçalar ve atomlardan elektronların bir kısmını ya da tamamını koparabilir. Uzay bilimciler güneşin sıcaklığını iyonlaşan bazı elementlerin yayılma spektrumlarını inceleyerek tahmin ederler. Örneğin Fe^{141} ’nin yayılma spektrumu kaydedilerek, incelenmiştir. Fe^{131} ’nin Fe^{141} ’e dönüşmesi için $3,5 \times 10^4$ kJ/mol enerji gerektiği bilindiğine göre, güneş koronasının sıcaklığını bulunuz. (İpucu: Bir mol gazın ortalama kinetik enerjisi $\frac{3}{2} RT$ ’dir).
- 7.133** 1996 yılında fizikçiler, anti-hidrojen atomunu elde ettiler. Böyle bir atom, sıradan bir atomun anti-madde eşdeğerdur, tüm parçacıkların elektrik yükleri tersine çevrilmiştir. Buna göre bir anti-atomun çekirdeği, negatif yük taşıyan ancak bir proton ile aynı kütleye sahip anti-protondan oluşur. Benzer şekilde elektron, elektronla aynı kütleye sahip ancak pozitif yük taşıyan anti-elektron (pozitron olarak da adlandırılır) ile değiştirilir. Anti-hidrojen atomlarının orbitallerinin, yayılma spektrumlarının ve enerji seviyelerinin hidrojen atomundan farklı olmasını bekler misiniz? Anti-hidrojen atomu, hidrojen atomu ile çarpışırsa ne olur?
- 7.134** 300 K sıcaklıkta N_2 molekülünün de Broglie dalga boyunu hesaplamak için Eşitlik 5.16’yı kullanınız.
- 7.135** Hidrojen atomu enerji düzeyleri arasında geçiş yapan bir elektron için, baş kuantum sayısı olan n ’nin ilk ve son değerlerinde bir kısıtlama yoktur. Ancak açısal momentum kuantum sayısının (ℓ) ilk ve son değerlerinde geçiş sınırlayan kuantum mekaniği kuralı vardır. Bu seçim kuralına göre, bir geçişe ilişkin $\Delta \ell = \pm 1$ olmalıdır. Yani, açısal momentum kuantum sayısının (ℓ) değeri ya bir azalabilir ya da artabilir. Bu kurala göre, verilen şu geçişlerden hangisi izinlidir: (a) $2s \rightarrow 1s$, (b) $3p \rightarrow 1s$, (c) $3d \rightarrow 4f$, (d) (e) $4d \rightarrow 3s$? Seçim kuralı yardımıyla, Şekil 7.11’de gösterilen çeşitli yayılma serilerini gözlemlemenin neden mümkün olduğunu açıklayınız.
- 7.136** Bir elektron mikroskobunda, elektronlar voltaj farkından geçirilerek hızlandırılırlar. Buna göre, elektronlar tarafından kazanılan kinetik enerji, elektron yükü ile voltajın çarpımına eşittir ve 1 V’luk gerilim farkı, $1,602 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V}$ veya $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ kinetik enerji verir. $5,00 \times 10^3 \text{ V}$ gerilim farkıyla hızlandırılmış elektronların dalga boyunu hesaplayınız.
- 7.137** Bir mikrodalga fırın ($1,22 \times 10^8 \text{ nm}$ ’de çalışan) ile 150 mL suyun (yaklaşık bir fincan) sıcaklığı, 20°C ’dan 100°C ’a yükseltilmektedir. Mikrodalga enerjisinin yüzde 92,0’si ısıya dönüştüğüne göre, bu işlem için gereken foton sayısını bulunuz.
- 7.138** Bazı kanser türlerinin tedavisinde, radyoaktif Co-60 izotopu kullanılır. Yayınlanan gama tanecığının enerjisi $1,29 \times 10^{11} \text{ J/mol}$ olduğuna göre dalga boyu ve frekansını hesaplayınız.
- 7.139** (a) Hidrojen atomunun temel haldeki bir elektronunun ortalama hızı, $5 \times 10^6 \text{ m/s}$ ’dir. Hız ölçümündeki belirsizlik, yüzde 1 ise, elektronun konumundaki belirsizlik nedir? Temel haldeki hidrojen atomunun yarıçapı $5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$ olduğu göz önüne alındığında, sonucu yorumlayınız. Bir elektronun kütlesi $9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$. (b) 50 mil/saat hızla hareket eden ve kütlesi 3,2 g olan bir masa tenisi topunun momentumu $0,073 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ’dir. Momentum ölçümündeki belirsizlik, momentum $1,0 \times 10^{-7} \text{ s}$ ise masa tenisi topunun konumundaki belirsizliği hesaplayınız.
- 7.140** Hidrojenin yayılma spektrumunda bir dalga boyu, 1280 nm’dir. Bu yayılmadan sorumlu geçişin ilk ve son seviyeleri nedir?
- 7.141** Baykuşların gözleri, $5,0 \times 10^{13} \text{ W/m}^2$ gibi düşük ışık yoğunluğunu algılayabildikleri için baykuşlar, çok iyi gece görüşüne sahiplerdir. Baykuşların gözbebeğinin çapı, 9,0 mm ve ışığın dalga boyu 500 nm ise, baykuş gözünün saniyede tespit edebileceği fotonların sayısını hesaplayınız ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$).
- 7.142** Hidrojen benzeri tek elektronlu atomlar için Eşitlik 7.5 şöyle düzenlenebilir: $E_n = -R_H Z^2 (1/n^2)$, burada Z ilgili atomun atom numarasıdır. Aşağıda, hidrojen benzeri bir iyonun gaz fazındaki yayılma spektrumu verilmiştir. Buradaki çizgilerin tamamını, uyarılmış düzeylerden $n = 2$ düzeyine olan elektronik geçişlerden kaynaklanmaktadır. (a) B ve C çizgileri hangi elektronik geçişlere karşılık gelir? (b) C çizgisinin dalga boyu 27,1 nm ise, A ve B çizgilerinin dalga boylarını hesaplayınız. (c) Bu iyonun $n = 4$ düzeyindeki bir elektronun uzaklaştırılması için gereken enerjiyi hesaplayınız. (d) “Sürey”in fiziksel anlamı nedir?



- 7.143 İki atom çarpıştığında, herikisinin veya birinin kinetik enerjilerinin bir kısmı elektronik enerjiye dönüştürülebilir. Eğer bu ortalama kinetik enerji, bazı izinli elektronik geçişlerin enerjilerine yaklaşık olarak eşitse, önemli sayıda atom, esnek olmayan çarpışma ile uyarılmış elektronik duruma ulaşarak yeterli enerji soğurabilir. (a) Bir gaz örneğinin 298 K'de atom başına ortalama kinetik enerjisini hesaplayınız. (b) Hidrojenin $n = 1$ ve $n = 2$ düzeyleri arasındaki enerji farkını hesaplayınız. (c) Hidrojen atomunu $n = 1$ düzeyinden $n = 2$ düzeyine çarpışma ile uyarılması, hangi sıcaklıkta mümkündür? (1 mol ideal gazın ortalama kinetik enerjisi, $\frac{5}{2}RT$ 'dir.)
- 7.144 Li^{2+} iyonunun, $n = 1$ ve $n = 5$ düzeyinden bir elektron uzaklaştırmak için gerekli enerjileri hesaplayınız. $n = 5$ düzeyinden $n = 1$ düzeyine geçişte yayılan fotonun dalga boyu (nm cinsinden) nedir? Hidrojen benzeri iyonlar için Rydberg sabiti, $Z^2(2.18 \times 10^{-18} \text{ J})$ ve Z ise atom numarasıdır.
- 7.145 Büyük Hadron Çarpıştırıcı'da hızlanan protonun de Broglie dalga boyu $2.5 \times 10^{-14} \text{ m}$ 'dir. Protonun kinetik enerjisi (joule cinsinden) nedir?
- 7.146 Bazı hareketli parçacıkların konumlarının ölçümündeki minimum belirsizlik, de Broglie dalga boyuna eşittir. Parçacık hızı, $1.2 \times 10^5 \text{ m/s}$ ise hız ölçümündeki minimum belirsizlik nedir?
- 7.147 Einstein'ın relativite özel kuramına göre, hareket eden bir parçacığın kütlesi (m_{hareket}), durgun kütlesi (m_{durgun}) ile aşağıdaki eşitlikle gösterildiği gibi ilişkilidir:

$$m_{\text{hareket}} = \frac{m_{\text{durgun}}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

burada, u ve c sırasıyla, parçacık ve ışık hızlarıdır. (a) parçacık hızlandırıcılarda, proton, elektron ve diğer yüklü parçacıklar genellikle ışık hızına yakın hızlara hızlandırılırlar. Hızı, ışık hızının yüzde 50.0'si olan bir protonun dalga boyunu (nm) hesaplayınız. Protonun kütlesi $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 'dır. (b) 63 m/s hızla hareket eden $6.0 \times 10^{-2} \text{ kg}$ tenis topunun kütlesini hesaplayınız. Sonuçlarınızı yorumlayınız.

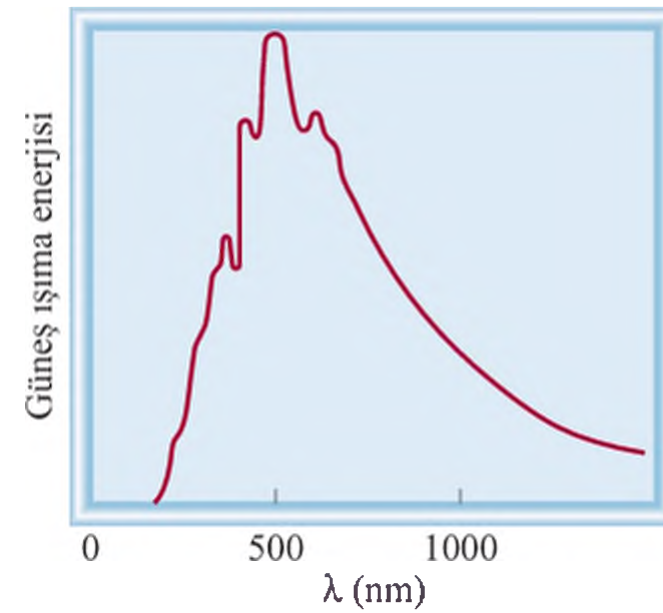
- 7.148 Fotoelektrik olayı açıklayan matematiksel eşitlik şöyledir:

$$h\nu = W + \frac{1}{2}m_e u^2$$

Burada, ν metal üzerine düşen ışığın frekansı, W iş fonksiyonu, m_e ve u yüzeyden çıkarılan elektronun kütlesi ve hızıdır. Bir deneyde, öğrenci 351 nm maksimum dalga boyundaki ışınların, yalnızca çinko metal yüzeyinden elektronları çıkarmak için gerekli olduğunu bulmuştur. Öğrenci, 313 nm dalga boyunda ışık kullandığında çıkarılan elektronun hızını (m/s) hesaplayınız.

- 7.149 Yirminci yüzyılın başlarında, bazı bilim insanları bir çekirdeğin hem elektron hem de proton içerebildiğini düşündüler. Bir elektronun çekirdek sınırları içinde olamayacağını göstermek için Heisenberg belirsizlik ilkesini kullandılar. Proton için hesaplamayı tekrarlayınız. Sonuçlarınızı yorumlayınız. Çekirdeğin yarıçapının $1.0 \times 10^{-15} \text{ m}$ olduğunu varsayınız. Elektron ve protonun kütleleri, sırasıyla $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ve $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 'dır (*İpucu:* konum ölçümündeki belirsizlik olarak çekirdeğin çapını alınız).

- 7.150 Siyah cisim ışıması, belirli bir sıcaklıktaki bir cisim tarafından yayılan ışıma enerjisinin dalga boyuna bağımlılığını tanımlamak için kullanılan terimdir. Planck, bu bağımlılığı açıklamak için kuantum kuramını önermiştir. Şekilde gösterilen güneşin yaydığı ışıma enerjisinin dalga boyuna karşı grafiğidir. Bu grafikteki eğri, güneş yüzeyindeki sıcaklığın özelliğidir. Daha yüksek sıcaklıkta, eğri benzer bir şekle sahiptir, ancak maksimumlar daha kısa dalga boylarına kayacaktır. Bu eğri, yeryüzünde önemli biyolojik önemi olan hangi iki sonucu açıklar?



- 7.151 Tüm moleküller, titreşim hareketi yaparlar. Kuantum mekaniğine göre, HCl gibi iki atomlu molekülün titreşim enerjisi, E_{tit} , aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$E_{\text{tit}} = \left(n + \frac{1}{2}\right) h\nu$$

Burada n kuantum sayısı ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) ve ν temel titreşim frekansıdır. (a) HCl molekülünün ilk üç titreşim enerji seviyesini çiziniz. (b) HCl molekülünü temel halden ilk uyarılmış seviyeye uyarlamak için gereken enerjiyi hesaplayınız. HCl'nin temel titreşim frekansı $8.663 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$ dir. (c) Temel halde, en düşük titreşim enerjisi sıfır değil $\frac{1}{2}h\nu$ değerine eşit olup mutlak sıfır dahil tüm sıcaklıklarda moleküller titreşir anlamına gelir. Bu tahmini doğrulamak için Heisenberg belirsizlik ilkesini kullandık. (*İpucu:* bir molekülün titreşmediğini varsayın ve momentum

ölçümündeki belirsizlik ve dolayısıyla konum ölçümündeki belirsizliği bulunuz.)

- 7.152** Hidrojen atomunun 2s orbitali için dalga fonksiyonu aşağıdaki eşitlikle gösterilir:

$$\psi_{2s} = \frac{1}{\sqrt{2a^3}} \left(1 - \frac{\rho}{2} \right) e^{-\rho/2}$$

burada a_0 , ilk Bohri yörüngesinin yarıçapıdır ve değeri 0,529 nm'ye eşittir. ρ değeri $Z(r/a_0)$ olup r metre biriminde çekirdekten uzaklıktır. Çekirdeğe göre 2s dalga fonksiyonunun düğüm yerini hesaplayınız.

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 7.153** Bir element atomlarının yalnızca iki olası uyarılmış hali vardır. Ancak, bir yayılma deneyinde, üç spektrum çizgisi gözlenmiştir. Bu durumu açıklayınız. En kısa dalga boyunun diğer iki dalga boyu ile ilgisini gösteren bir eşitlik yazınız.
- 7.154** Wien yasasına göre, siyah cisim ışımasındaki maksimum ışıma şiddetinin dalga boyu, λ_{max} aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

Burada, b sabittir (2.898×10^6 nm·K) ve T , Kelvin olarak ışıma yapan cismin sıcaklığıdır. (a) Bu bilgilere göre, güneş yüzeyindeki sıcaklığı tahmin ediniz. (b) Astronomlar, genel olarak yıldızların sıcaklığını nasıl belirlerler? (Siyah cisim ışımasıyla ilgili açıklamalar için Problem 7.150'ye bakınız.)

- 7.155** Tungsten lambasına verilen elektrik enerjisinin sadece küçük bir kısmı görünür ışığa dönüştür. Enerjinin geri kalan kısmı kızılötesi ışıma (yani ısıya) dönüştür. 60 W'lık bir ampule sağlanan enerjinin yüzde 15'i görünür ışığa dönüştüğüne göre am-

pul saniyede kaç foton yayınlamaktadır? (1 W = 1 J/s.)

- 7.156** Fotosentez, kimyasal değişimler meydana getirmek için görünür ışığın fotonlarını kullanır. Kızılötesi fotonlar şeklindeki ısı enerjisinin fotosentez için neden etkisiz olduğunu açıklayınız. (*İpucu:* Kimyasal bağ enerjileri, 200 kJ/mol veya daha büyüktür.)
- 7.157** Tipik bir kırmızı lazer işaretçinin gücü, 5 mW'dır. Kırmızı lazer işaretçinin, 1W mavi lazer (1W) tarafından 1 s'de yayılan fotonlarla aynı sayıda foton yayması ne kadar sürer? (1 W = 1 J/s.)
- 7.158** s. 314'deki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasından yararlanarak, 10 nm çapında kadmiyum selenür (CdSe) kuantum noktasının yaydığı ışığın dalga boyunu bulunuz. Yayılan ışık insan gözüyle görülebilir mi? Bir seri kuantum noktası için, çap ve yayılma dalga boyları aşağıda verilmiştir.

Çap (nm)	2.2	2.5	3.3	4.2	4.9	6.3
Dalga boyu (nm)	462	503	528	560	583	626

Alistirmaların Cevapları

- 7.1** 8.24 m. **7.2** 3.39×10^3 nm. **7.3** 9.65×10^{19} J. **7.4** 2.63×10^3 nm. **7.5** 56.6 nm. **7.6** 0.2 m/s. **7.7** $n = 3, \ell = 1, m_\ell = -1, 0, +1$. **7.8** 16. **7.9** $(4, 2, -2, +\frac{1}{2})$, $(4, 2, -1, +\frac{1}{2})$, $(4, 2, 0, +\frac{1}{2})$, $(4, 2, 1, +\frac{1}{2})$, $(4, 2, 2, +\frac{1}{2})$, $(4, 2, -2, -\frac{1}{2})$, $(4, 2, -1, -\frac{1}{2})$, $(4, 2, 0, -\frac{1}{2})$, $(4, 2, 1, -\frac{1}{2})$,

$(4, 2, 2, -\frac{1}{2})$. **7.10** 32. **7.11** $(1, 0, 0, +\frac{1}{2})$, $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$, $(2, 0, 0, +\frac{1}{2})$, $(2, 0, 0, -\frac{1}{2})$, $(2, 1, 2, -\frac{1}{2})$. Son elektronun (2p orbitalindeki) kuantum sayılarını yazmak için kabul edilebilir başka beş yol vardır. **7.12** $[\text{Ne}]3s^23p^3$.

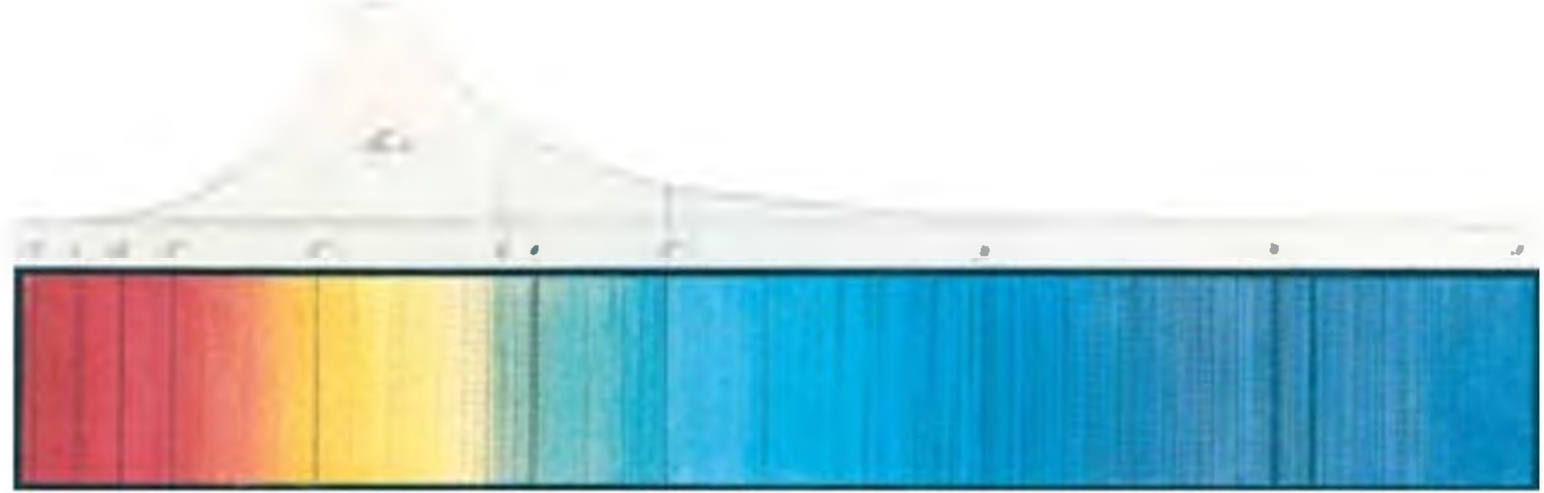
Helyumun Keşfi, Koronyumun Doğuşu ve Çöküşü

Bilim adamları, güneş ve diğer yıldızların bazı elementler içerdiğini bilmekteler. Peki, bu bilgiler nasıl elde edilmektedir?

On dokuzuncu yüzyılın başlarında, Alman fizikçi Josef Fraunhofer güneşin yayılma spektrumunu üzerine çalışmalar yaptı ve bazı özel dalga boylarında koyu çizgiler olduğunu gözlemledi. Bu çizgilerin sürekli bir renk bandının ışımasından kaynaklandığını ve yayılan ışığın güneşten dışa doğru hareket ederken bir kısmının uzaydaki atomlar tarafından bu dalga boylarında tekrar soğurulduğunu düşünebiliriz. Bu açıklamaya göre, gözlenen bu koyu çizgiler soğurma (absorpsiyon) çizgileridir. Atomların ışığı yayma ve soğurması, aynı dalga boylarında meydana gelir. Bilim insanlarının, bilinen elementlerin laboratuvarlardaki yayılma spektrumları ile yıldızların yayılma spektrumlarındaki soğurma çizgilerini eşleştirerek, yıldızlarda bulunan elementler hakkında sonuçlar elde etmişlerdir.

Spektroskopik olarak güneşi incelemenin bir diğer yolu da, güneş tutulması olayıdır. 1868 yılında Fransız fizikçi Pierre Janssen, güneşin tam tutulması sırasında, güneş koronasının yayılma spektrumunda parlak bir sarı çizgi (Şekil 7.8) gözlemledi. (Korona, güneşin tam tutulması sırasında güneşin etrafında gözlenen inci gibi beyaz bir taç görüntüsüdür). Bu çizgi, bilinen elementlerin yayılma çizgileri ile eşleşmiyordu, fakat Fraunhofer tarafından çizilen spektrumdaki koyu çizgilerden biri ile eşleşiyordu. Yayılma çizgisinden sorumlu olan bu elemente helyum adı verildi. (Helios, Yunan mitolojisinde güneş tanrısı). Yirmi yedi yıl sonra İngiliz kimyacı William Ramsay tarafından, Dünya'daki bir uranyum mineralinde helyum keşfedildi. Yeryüzünde, helyumun tek kaynağı radyoaktif bozunma süreçleridir. Nükleer parçalanma sırasında yayılan α -parçacıkları, daha sonra helyum atomlarına dönüştürülürler.

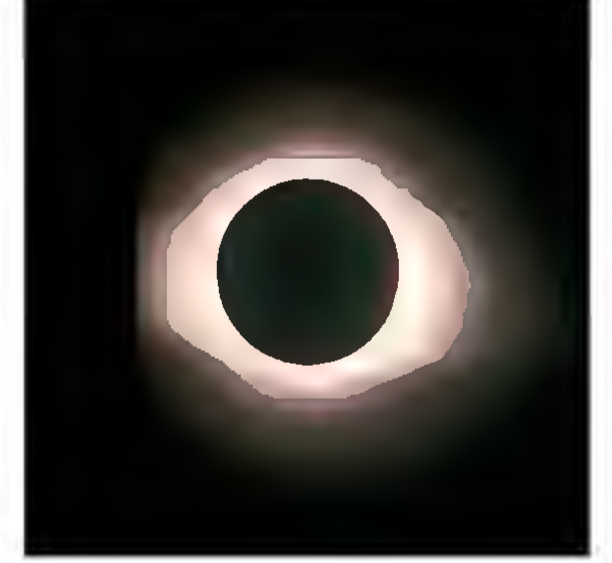
Güneşin yayılma spektrumunda, siyah soğurma çizgilerini gösteren Fraunhofer'in 1814 yılındaki orijinal çizimi. Diyagramın üst kısmı, farklı renklerdeki güneş ışığının toplam parlaklığını göstermektedir.



Güneşten yeni elementlerin araştırılması helyumun keşfi ile bitmedi. Janssen'in çalışmaları zamanında, bilim insanları korona spektrumundan parlak yeşil bir çizgiyi de tespit ettiler. Bu çizgiye karşılık gelen elementin kimliğini açıklayamadılar ve sadece koronoda bulunduğu için onu koronyum olarak adlandırdılar. Takip eden yıllarda, başka gizemli koronal yayılma çizgileride bulundu. Koronyum problemini çözmek helyum kadar kolay olmadı, çünkü bilinen elementlerle bu çizgiler eşleşmiyordu. 1930'ların sonunda, İsveçli fizikçi Bengt Edlén bu spektrum çizgilerinin demir, kalsiyum ve nikelinin kısmen iyonlaşmış atomlarına ait olduğunu belirledi. Çok yüksek sıcaklıklarda (milyonlarca °C) pek çok atom, bir veya daha fazla elektron kaybederek iyonlaşır. Bu nedenle, bilinmeyen yayılma çizgileri, yeni bir elementten değil, metallerin iyonlaşmalarıyla oluşan iyonlardan geliyordu. Yani, yaklaşık 80 yıl sonra, koronyum sorunu çözüldü. Sonuçta, koronyum diye bir element yoktur!

Kimyasal İpuçları

1. Soğurma ve yayılma işlemlerini göstermek için iki enerji düzeyi sistemi (E_1 ve E_2) çiziniz.
2. Korona spektrumu yalnızca yayılma çizgileri vermesine karşın güneş spektrumunun neden yalnızca soğurma çizgileri (koyu çizgiler) verdiğini açıklayınız .
3. Yeryüzünde helyumu tespit etmek neden zordur?
4. Bilim insanları, yıldızlardaki elementlerin bolluğunu nasıl tespit edebiliyorlar?
5. Koronal yayılma çizgisi veren bir element iyonunun bilinmesiyle, korona sıcaklığını nasıl bulabiliriz.



Korona, sadece birkaç dakika süren güneşin tam tutulması sırasında, görünür hale gelir.

Elementlerin Periyodik İlişkileri



Periyodik çizelge Mendeleev'den buyana, birçok farklı şekil almıştır. Dairesel şekil, merkeze doğru gidildikçe atom boyutlarının küçüldüğünü gösterir.

Bölüm Başlıkları

- 8.1** Periyodik Çizelgenin Gelişimi
- 8.2** Elementlerin Periyodik Sınıflandırılması
- 8.3** Fiziksel Özelliklerde Periyodik Değişim
- 8.4** İyonlaşma Enerjisi
- 8.5** Elektron İlgisi
- 8.6** Baş Grup Elementlerinin Kimyasal Özelliklerindeki Değişim

Toplu Bakış

- Periyodik çizelgenin gelişimi ve ondokuzuncu yüzyıl bilim insanlarının, özellikle Mendeleev'in katkıları ile başlayacağız (8.1).
- Periyodik çizelgeyi oluşturmak için, elektron dizilişinin mantıklı bir yol olduğunu ve bunun bazı kuralırlılıkları açıklayabildiğini göreceğiz (8.2).
- Daha sonra, fiziksel özelliklerde periyodik değişimleri, örneğin atom ve iyon boyutlarının etkin çekirdek yükü ile değişimini göreceğiz (8.3).
- Periyodik değişimleri incelememize, iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi gibi kimyasal özellikleri ele alarak devam edeceğiz (8.4 ve 8.5).
- Daha sonra bu bölümde kazandığımız bilgileri, belirli bir grup ve periyot boyunca baş grup elementlerinin özelliklerini sistematik olarak incelemek için uygulayacağız (8.6).

Elementlerin birçok kimyasal özellikleri onların elektron dizilişleriyle anlaşılabilir. Elektronlar atomik orbitalleri oldukça düzenli bir şekilde doldurdıklarından, sodyum ve potasyum gibi benzer dizilişlere sahip olan elementlerin birçok açıdan benzer özellikler göstermeleri şaşırtıcı olmayacaktır. On dokuzuncu yüzyıl kimyacıları, elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin periyodik eğilimler gösterdiğini kuantum kuramı salınmaya çıkmadan çok daha önceleri fark etmişlerdi. Bu kimyacılar, elektron ve protonların varlığından haberdar olmanalarına rağmen, elementlerin kimyasını sistematik hale getirme çabalarında oldukça başarılı olmuşlardı. Onların ana bilgi kaynağı, elementlerin atom kütleleri ve bilinen diğer fiziksel ve kimyasal özellikleriydi.

8.1 Periyodik Çizelgenin Gelişmesi

On dokuzuncu yüzyılda, kimyacıların atomlar ve moleküller hakkında çok az bilgileri vardı. Elektronların ve protonların varlığından ise habersizdiler. Buna rağmen atomik kütle bilgilerini kullanarak periyodik çizelge geliştirdiler. Birçok elementin atom kütlelerinin hassas ölçümleri o zamana kadar zaten yapılmıştı. Bir periyodik çizelgede atom kütlelerine göre elementlerin düzenlenmesi, kimyacılar mantıklı gördü. Kimyacılar elementlerin kimyasal davranışlarının atom kütleleriyle ilişkili olabileceğini öngördüler.

1864’de bilinen elementler atom kütlelerine göre sıralandığında her sekiz elementin benzer özellikleri olduğu İngiliz kimyacı John Newlands¹’in dikkatini çekti. Newlands bu farklı ilişkiyi *oktavlar (seki-zliler) yasası* olarak adlandırdı. Ancak, bu “yasa” kalsiyum sonrası elementler için *yeterli olmuyordu*. Bu nedenle, Newlands’ın çalışması bilimsel topluluk tarafından benimsenmedi.

1869’da Rus Kimyacı Dimitri Mendeleev¹ ve Alman Kimyacı Lothar Meyer³ birbirlerinden bağımsız olarak elementlerin periyodik ve düzenli olarak özelliklerinin tekrarlandığı, daha ayrıntılı bir çizelge önerdiler. Mendeleev’in sınıflandırması iki nedenden dolayı Newlands’inkinde daha gelişmiş bir sınıflandırmaydı. Birincisi, elementleri özelliklerine göre daha doğru bir şekilde gruplandırmıştı. Önemli olan yönlerinden biride, henüz keşfedilmemiş olan bazı elementlerin özelliklerini tahmin edebilmesiydi. Örneğin Mendeleev, eka-alüminyum diye adlandırdığı bilinmeyen bir elementin varlığını tahmin etti. (*Eka* Sanskritçe, kelime anlamı “ilk”dir). Buna göre, eka-alüminyum aynı grupta alüminyumun altındaki ilk element olmalıydı. Dört yıl sonra galyum keşfedildiğinde, özelliklerinin eka-alüminyumun tahmin edilen özellikleriyle oldukça örtüştüğü görüldü. Karşılaştırmalı özellikler aşağıdaki tabloda görülmektedir.

	Eka-Alüminyum (Ea)	Galyum (Ga)
Atom kütlesi	68 akb	69,9 akb
Erime noktası	Düşük	29,78°C
Yoğunluk	5,9 g/cm ³	5,94 g/cm ³
Oksidinin formülü	Ea ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃

Mendeleev’in periyodik çizelgesi bilinen 66 elementi içermektedir. 1900’lara kadar bazı boşlukları doldurmak üzere bu listeye 30’dan fazla element daha eklendi. Şekil 8.1’de elementlerin kronolojik olarak keşifleri de verilmektedir.

¹John Alexander Reina Newlands (1838–1898). İngiliz kimyacı. Newlands’ın çalışmaları elementlerin sınıflandırılması için doğru yolda atılmış bir adımdı. Ne yazık ki eksikliklerinden dolayı, çok fazla eleştiriyeye maruz kaldı, hatta alay edildi. Bir toplantıda kendisine, elementleri ilk harflerinin sırasına göre de incelediniz mi diye soruldu! Bununla birlikte, 1887’de Newlands, katkılarından dolayı “Royal Society of London” tarafından onurlandırıldı.

¹Dmitri Ivanovich Mendeleev (1836–1907). Rus kimyacı. Elementlerin periyodik sınıflandırılması üzerine yaptığı çalışma, çoğu tarafından on dokuzuncu yüzyılda kimyadaki en önemli gelişme olarak görülmüştür.

³Julius Lothar Meyer (1830–1895). Alman kimyacı. Periyodik çizelgeye olan katkılarının yanı sıra, Meyer hemoglobinin oksijene karşı olan kimyasal ilgisini de keşfetmiştir.



Galyum, bir insanın elinde erimektedir. (vücut sıcaklığı yaklaşık 37°C)

Ek 1’de elementlerin isimleri ve sembolleri açıklanmaktadır.

Antik çağlardan		1735–1843		1894–1918			
Orta çağ–1700		1843–1886		1923–1961		1965–	

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113	114	115	116	117	118

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Şekil 8.1 Elementlerin kronolojik olarak keşiflerini gösteren çizelge. Bu güne kadar 118 element tespit edilmiştir.

Bu periyodik çizelge kutlanılacak bir başarı olmasına rağmen, ilk versiyonlarının, göze batan bazı tutarsızlıkları vardı. Örneğin argonun atom ağırlığı (39.95 akb) potasyumunkinden (39,10 akb) daha büyüktü. Eğer elementler artan atom ağırlıklarına göre düzenlenmiş olsaydı, argon modern periyodik çizelgede bugün potasyumun olduğu yerde olmalıydı (ön kapağın iç kısmına bakınız). Ancak, hiç bir kimyacı inert bir gaz olan argonu iki reaktif metal olan lityum ve sodyum ile aynı gruba yerleştirmez. Bu ve diğer bazı çelişkiler gözlenen periyodikliğin temelinde atom kütlesinden daha farklı bazı temel özelliklerin olabileceğini akla getirdi. Bu özelliğin daha sonra, Mendeleev ve çağdaşları tarafından bilinmeyen bir kavram olan, atom numarası olduğu ortaya çıkmıştır.

Rutherford, α -saçılma deneylerinden elde edilen verileri kullanarak (bak. Kesim 2.2) bir kaç elementin çekirdeğindeki pozitif yüklerin sayısını tahmin edebilmişti. Ancak bu sayıların önemi birkaç yıl anlaşılamadı. 1913’de genç bir İngiliz fizikçi olan Henry Moseley¹ yüksek enerjili elektronlarla bombardıman edilen elementler tarafından üretilen X ışınlarının frekansları ile elementin *atom numarası* arasında bir bağıntı olduğunu keşfetti. Moseley elementten yayılan X ışını frekansının aşağıdaki bağıntı ile gösterilebileceğini öne sürdü:

$$\sqrt{\nu} = a(Z - b) \quad (8.1)$$

¹Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (1887–1915). İngiliz fizikçi. Moseley X -ışını spektrumları ile atom numarası arasındaki bağıntıyı keşfetti. Kraliyet mühendisliğinde bir teğmendi. 28 yaşında, İngiliz seferinde, Türkiye, Gelibolu’da savaşta öldü.

lantanitler ve aktinitler gibi. **Baş grup elementleri** 1A'dan 7A grubuna kadar olan elementleri içerir ve bu elementlerin hepsinde, en yüksek ana kuantum sayısının s ve p alt kabukları tam olarak dolmamıştır. Helyumu saymazsak, soy gazların (8A grubu elementleri) hepsinde p alt kabuğu tam olarak dolmuştur. (Elektron dağılımları helyum için $1s^2$, diğer soy gazlar için ise ns^2np^6 'dır. Burada n en dış kabuğun ana kuantum sayısıdır

Geçiş metalleri 1B ve 3B'den 8B'ye kadar olan elementlerdir. Bunların d alt kabukları tam dolmamıştır ve tam dolu olmayan d alt kabuklarını kullanarak kolayca kation oluştururlar. (Bu metaller bazen d -bloğu geçiş elementleri olarak da isimlendirilirler). Periyodik çizelgedeki geçiş metallerinin düzensiz numaralanması (yani 3B-8B ve bunu takiben 1B-2B yazılması) bu elementlerin en dış elektron dizilimlerinin baş grup elementlerden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin skandiyum ve galyum her ikisi de üç adet en dış elektrona sahiptirler. Ancak farklı çeşit atom orbitale sahip olduklarından, farklı gruplara yerleştirilmişlerdir (3B ve 3A). Demir (Fe), kobalt (Co) ve nikel (Ni) metalleri bu sınıflandırmaya uymadığından hepside Grup 8B'ye yerleştirilmişlerdir. 2B grubu elementleri Zn, Cd ve Hg'dir. Bu elementler ne baş grup elementi nede geçiş metalidirler. Bu gruptaki metallerin özel bir isimleri yoktur. Unutmamak gerekir ki, A ve B grubu şeklindeki gösterimin evrensel bir gösterim değildir. Avrupa'da Amerikan kabulünün tersine baş grup elementleri için pratik olarak B ve geçiş metalleri için A kullanılır. Uluslararası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) grupların sırayla 1'den 18'e kadar numaralandırılmasını önermiştir (Şekil 8.2'ye bakınız). Bu öneri uluslar arası kimya toplumunda büyük tartışmalara yol açmış olup avantaj ve sakıncaları daha bir süre tartışılacaktır. Bu kitapta biz Amerikan kabulünü kullanacağız.

Lantanitler ve aktinitler tam dolu olmayan f alt kabuklarına sahip olmalarından dolayı bazen f -bloğu geçiş elementleri olarak da isimlendirilirler. Şekil 8.3'de görüldüğü gibi bu elementler ayrı gruplandırılmıştır.

Elementlerin kimyasal etkinlikleri büyük oranda, en dış elektronlar olan **değerlik elektronları** ile belirlenir. Baş grup elementleri için, değerlik elektronları işgal edilen en yüksek n kabuğundaki elektron sayılarıdır. Bir atomda değerlik elektronları haricindeki bütün elektronlar **iç elektronlar** veya **göbek elektronlar** olarak adlandırılır. Eğer baş grup elementlerin elektron dağılımlarına tekrar bakacak olursak, net bir model ortaya çıkar: belirli bir gruptaki bütün elementler aynı sayı ve türde değerlik elektronlarına sahiptirler. Değerlik elektronları dağılımındaki benzerlik, aynı gruptaki elementlerin kimyasal davranış açısından birbirlerine benzemelerine yol açar. Buna göre, örneğin alkali metaller (Grup 1A metalleri) hepsinde aynı ns^1 değerlik elektron dağılımına sahiptirler (Çizelge 8.1). Bu grup metallerinin hepsinde bir elektron kaybetme eğiliminde olup tek yüklü kationlar oluştururlar. Benzer şekilde, toprak alkali metaller (Grup 2A metalleri) hepsinde ns^2 elektron dağılımına sahip olup iki elektron kaybederek iki yüklü kationlar oluşturma eğilimindedirler. Ancak sadece "grup numarasına" bakarak elementlerin bu özelliklerini tahmin etmede çok dikkatli olmalıyız. Örneğin, Grup 4A'da bulunan elementler hepsinde ns^2np^2 elektron dağılımına sahiptirler, ancak elementlerin kimyasal özellikleri arasında önemli farklılıklar vardır. Örneğin karbon bir ametaldir, silisyum ve germanyum yarı metaldir, kalay ve kurşun metaldirler.

Bir grup olarak, soy gazlar çok benzer davranışlar gösterirler. Helyum ve neon kimyasal olarak inert iken diğer soy gazların oluşturdıkları birkaç bileşik bilinmektedir. Kimyasal olarak reaktif olmamaları, tamamen dolu olan ns ve np alt kabuklarından dolayı kazandıkları büyük kararlılıktandır. Geçiş metallerinin dış elektron dağılımları, grup içerisinde daima aynı değildir ve aynı periyot içerisinde bir metalden diğerine geçerken elektron dağılımlarının değişimi, bir düzen göstermez. Bunun

Baş grup elementlerinin değerlik elektronları, en yüksek temel enerji seviyesi olan, n 'deki elektronlardır.

Çizelge 8.1

1A Grubu ve 2A Grubu Elementlerinin Elektron Dağılımları

Grup 1A	Grup 2A
Li [He]2s ¹	Be [He]2s ²
Na [Ne]3s ¹	Mg [Ne]3s ²
K [Ar]4s ¹	Ca [Ar]4s ²
Rb [Kr]5s ¹	Sr [Kr]5s ²
Cs [Xe]6s ¹	Ba [Xe]6s ²
Fr [Rn]7s ¹	Ra [Rn]7s ²

- (b) $3p$ alt kabuğu tam dolu olmadığından, bu bir baş grup elementidir. Verilen bilgiye dayanarak bu elementin bir metal mi, ametal mi yoksa bir yarı metal mi olduğunu söyleyemeyiz.
- (c) Hund kuralına göre $3p$ orbitallerindeki üç elektron aynı spine sahiptir. Bu nedenle element paramanyetikdir.

Benzer problem: 8.20.

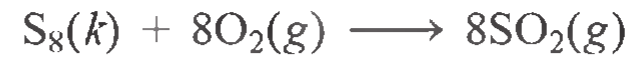
Kontrol (b) Bir geçiş metalinin tam dolunmuş d alt kabuklarına, bir soy gazın ise tam dolu dış kabuğa sahip olduğuna dikkat ediniz. (c) Bir elementin atomlarının tek sayıda elektrona sahip olduklarında paramanyetik olacağını hatırlayınız.

Alıştırma Bir elementin atomu 20 elektrona sahiptir. (a) Elementin temel haldeki elektron dağılımını yazınız, (b) elementi sınıflandırınız. (c) elementin diyamanyetik mi yoksa paramanyetik mi olduğunu belirtiniz.

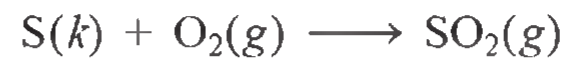
Kimyasal Eşitliklerde Serbest Elementlerin Gösterimi

Kimyacıların elementleri temel hal elektron dağılımlarına göre, bir kimyasal tepkime içerisinde serbest elementler olarak metal, yarı metal ve ametal diye sınıflandırmalarına bir bakalım. Metaller bağımsız molekül birimi şeklinde olmadıklarından, bu kimyasal tepkime içerisinde daima onların basit formüllerini kullanırız. Basit formül ise, o elementi gösteren simge ile aynıdır. Örneğin, demirin basit formülü Fe, elementin simgesi ile aynıdır.

Ametaller için tek bir kural yoktur. Örneğin karbonda karbon atomları üç boyutlu ağ yapısında olmasına rağmen, kimyasal tepkimedeki karbon elementini basit formülü olan C'yi kullanarak gösteririz. Fakat hidrojen, azot, oksijen ve halojenler iki atomlu moleküller halinde olup, tepkimelerde onların bu molekül formüllerini H_2 , O_2 , F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 şeklinde gösteririz. Fosforun kararlı hali P_4 molekülü olup tepkimelerde P_4 'ü kullanırız. Kükürt için tepkimelerde, kimyacılar kararlı hal olan S_8 yerine genellikle S basit formülünü kullanırlar. Buna göre, kükürdün aşağıdaki yanma tepkimesi yerine,



genellikle şu tepkimeyi yazarız:



Bütün soy gazlar tek atomlu türler olarak bulunurlar. Buna göre onlar için He, Ne, Kr, Xe, ve Rn simgelerini kullanırız. Yarı metallerde metaller gibi hepsi karmaşık üç boyutlu ağ yapısındadırlar ve biz onları da B, Si, Ge gibi basit formülleri ile gösteririz.

Kasyon ve Anyonların Elektron Dağılımları

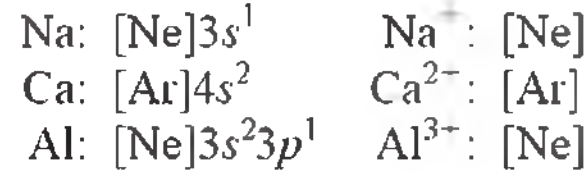
Birçok iyonik bileşik, tek atomlu anyonlar ve kasyonlardan oluşmuştur. Bu bilgi iyonik türlerin elektron dağılımlarını yazabilmemize yardımcı olur. Kasyon ve anyonların temel hal elektron dağılımlarını yazarken, tıpkı nötr atomlarda olduğu gibi, Pauli dışlama ilkesi ve Hund kuralına uygun olarak bunu gerçekleştiririz. İyonları iki grupta inceleyebiliriz.

Baş Grup Elementlerden Türeyen İyonlar

Çoğu baş grup element atomundan kasyon oluşurken, dış kabukları soy gaz elektron dağılımı olan ns^2np^6 ya ulaşır. Bir baş grup elementinden bir kasyon oluşurken, en

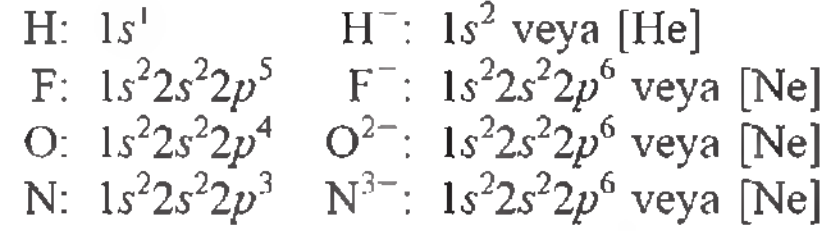
Unutmayınız ki, kükürdün yanmasına ait olan bu iki eşitlik, özdeş stokiometriye sahiptir. Her iki eşitlik aynı kimyasal sistemi açıkladığından, bu yazma şekilleri şaşırtıcı olmamalıdır. Her iki durumda, kükürt atomları kendisinin iki katı oksijen atomlarıyla tepkimeye girmektedirler.

yüksek n sayısına sahip kabuktan bir ya da daha fazla elektron uzaklaşır. Bazı atomlar ve karşılık gelen katyonların elektron dağılımları aşağıdadır:



Her bir iyonun kararlı bir soy gaz yapısına sahip olduğuna dikkat ediniz.

Anyon oluşumunda ise, en yüksek n sayısına sahip ve kısmen dolu elektron tabakasına bir ya da daha fazla elektron gelir.



Bu anyonların hepsi kararlı soy gaz dağılımlarına sahiptir. F^- , Na^+ ve Ne türlerinin aynı elektron dağılımına, Al^{3+} , O^{2-} ve N^{3-} türlerinin de yine aynı elektron dağılımına sahip olduklarını unutmayınız. Aynı sayıda elektrona sahip ve dolayısıyla aynı temel hal elektron dağılımı ile gösterilen böyle türlere **izoelektronik** denir. Buna göre H ve He izoelektroniktir.

Geçiş Metallerinden Türemiş Katyonlar

Kesim 7.9'da ilk sıradaki geçiş metallerinde, (Sc'dan Cu'ya kadar) $3d$ orbitallerinden önce daıma $4s$ orbitallerinin dolduğunu gördük. Mangan elementini göz önüne alırsak, elektron dağılımı $[\text{Ar}]4s^23d^5$ dir. Mn^{2+} iyonu oluştuğu zaman, iki elektronun $3d$ orbitallerinden uzaklaşacağını ve oluşan iyonun elektron dağılımının $[\text{Ar}]4s^23d^5$ olacağını bekleriz. Halbuki, Mn^{2+} iyonunun elektron dağılımı $[\text{Ar}]3d^5$ dir! Bunun sebebi, nöttü bir atomdaki elektron-elektron ve elektron-çekirdek etkileşimlerinin iyonlarında olduğundan oldukça farklı olmasıdır. Bu nedenle örneğin Mn 'da $3d$ orbitallerinden önce daıma $4s$ orbitalleri dolmasına rağmen, $3d$ orbitali $4s$ orbitalinden daha kararlı olduğu için, Mn^{2+} iyonu oluşurken elektronlar $3d$ orbitalinden değil, $4s$ orbitalinden uzaklaşırlar. Bu nedenle, bir geçiş metali atomundan bir katyon oluştuğu zaman, elektronlar daıma önce ns orbitalinden ve daha sonra $(n-1)d$ orbitalinden uzaklaşırlar.

Geçiş metallerinin çoğunun birden çok katyon oluşturabildiğini ve oluşan katyonların kendilerinden önceki soy gazlarla çoğu kez izoelektronik olmadığını unutmayınız.

Unutmayınız ki, geçiş metallerinde elektronların dolma sırasına bakarak elektronların uzaklaşma sırası tayin ve tahmin edilemez. Bu metallerde $(n-1)d$ elektronlarından önce ns elektronları kaybedilir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Verilen şu tanımlamalara uyan elementleri belirleyiniz: (a) Kr ile izoelektronik olan bir toprak alkali metal iyonu. (b) K^+ ile izoelektronik olan bir -3 yüklü anyon. (c) Co^{3+} ile izoelektronik olan bir $+2$ yüklü iyon

8.3 Fiziksel Özelliklerdeki Periyodik Değişiklikler

Daha önce gördüğümüz gibi, elementlerin elektron dağılımları artan atom numarasıyla birlikte periyodik değişimler göstermektedir. Bu nedenle fiziksel ve kimyasal davranışlarda da periyodik değişiklikler vardır. Bu kesimde ve bundan sonraki iki kesimde, aynı grup veya periyottaki elementlerin bazı fiziksel özelliklerini ve elementlerin kimyasal davranışlarını etkileyen başka özellikleri inceleyeceğiz. Öncelikle, birçok atom özelliği üzerinde doğrudan etkili olan etkin çekirdek yükü kavramına bakacağız.

Etkin Çekirdek Yükü

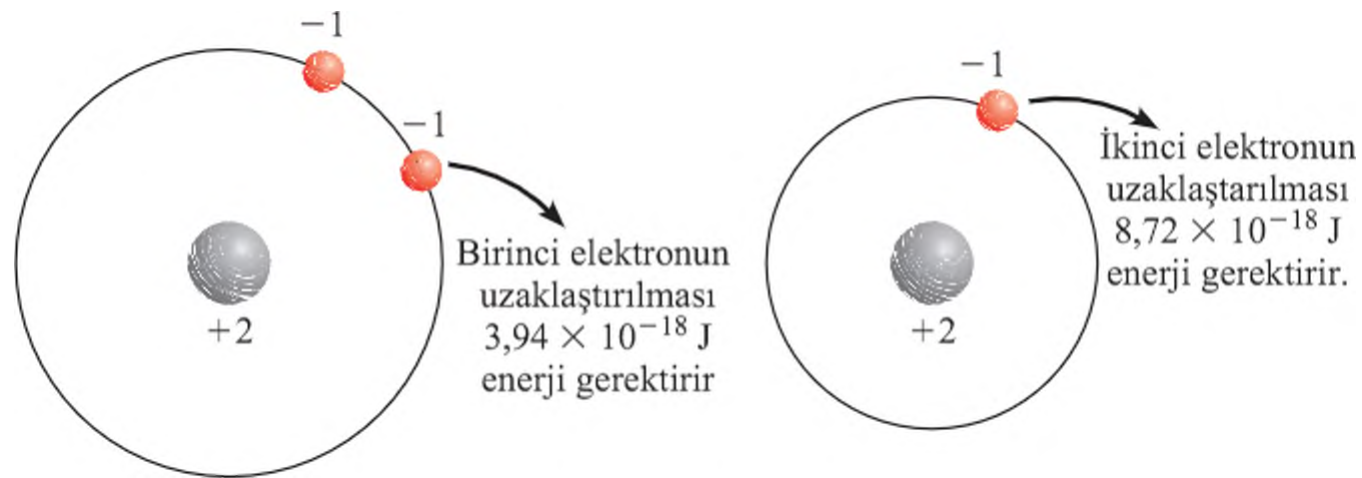
Baş grup elementlerinde etkin çekirdek yükü grupta yukarıdan aşağıya, periyotta ise soldan sağa doğru artar.

Bölüm 7’de, çok elektronlu atomlarda dış-kabuk elektronları üzerine, çekirdeğe yakın elektronların sahip olduğu perdeleme etkisini tartıştık. Elektronların perdelemesi, çekirdekteki pozitif yüklü protonlar ve dış kabuk elektronları arasındaki elektrostatik çekim kuvvetini azaltır. **Etkin çekirdek yükü (Z_{et})**, *gerçek çekirdek yükü (Z) ve dış yörünge elektronlarının itme kuvvetleri (perdeleme) dikkate alındığında, bir elektron tarafından hissedilen çekirdek yüküdür*. Genel olarak etkin çekirdek yükü, Z_{et} şöyle verilir:

$$Z_{et} = Z - \sigma \quad (8.2)$$

Burada σ (sigma) *perdeleme sabiti* olarak isimlendirilir. Perdeleme sabiti sıfırdan büyük Z ’den küçüktür.

Elektron perdelemesini göstermenin bir yolu da helyum atomundan iki elektronu uzaklaştırmak için gerekli olan enerjinin miktarını hesaplamaktır. Yapılan ölçümler birinci elektronun uzaklaştırılması için $3,94 \times 10^{-18} \text{ J}$ ve ikincisi için $8,72 \times 10^{-18} \text{ J}$ enerji gerektiğini göstermiştir. Birinci elektron uzaklaştırıldığında perdeleme etkisi yokken, ikinci elektron $+2$ çekirdek yükünün etkisinin tümünü hissetmektedir.



1s ve 2s orbitallerinin radyal olasılık eğrileri için Şekil 7.27’ye bakınız.

İç elektronlar çekirdeğe değerlik elektronlarından daha yakın olduklarından iç elektronlar değerlik elektronlarını değerlik elektronlarının birbirini perdelemesinden daha çok perdelerler. Li’den Ne’ye kadar olan ikinci periyot elementlerini düşünelim. Soldan sağa doğru giderken, iç elektronların ($1s^2$) sayısı sabit kalırken, çekirdek yükü artar. Ancak ilave edilen elektronlar değerlik elektronları olduğundan ve bu elektronlar birbirini çok iyi perdelemediğinden, periyot boyunca ilerlerken net etki, değerlik elektronlarının gittikçe daha fazla etkin çekirdek yüküne maruz kalması olacaktır. Bu durumu şöyle özetlenebilir:

	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Z	3	4	5	6	7	8	9	10
Z_{et}	1,28	1,91	2,42	3,14	3,83	4,45	5,10	5,76

Belirli bir elektron ile çekirdek arasındaki çekme kuvveti etkin çekirdek yüküne doğrudan, aralarındaki mesafeye ise karekökünün tersi ile bağlıdır.

Etkin çekirdek yükü bir grupta aşağıya doğru gidildikçe de artar. Ancak, değerlik elektronları şimdi keskin bir şekilde artan büyük n kabuklarına ekleneceğinden, gerçekte çekirdek ile değerlik elektronları arasındaki elektrostatik çekim azalır.

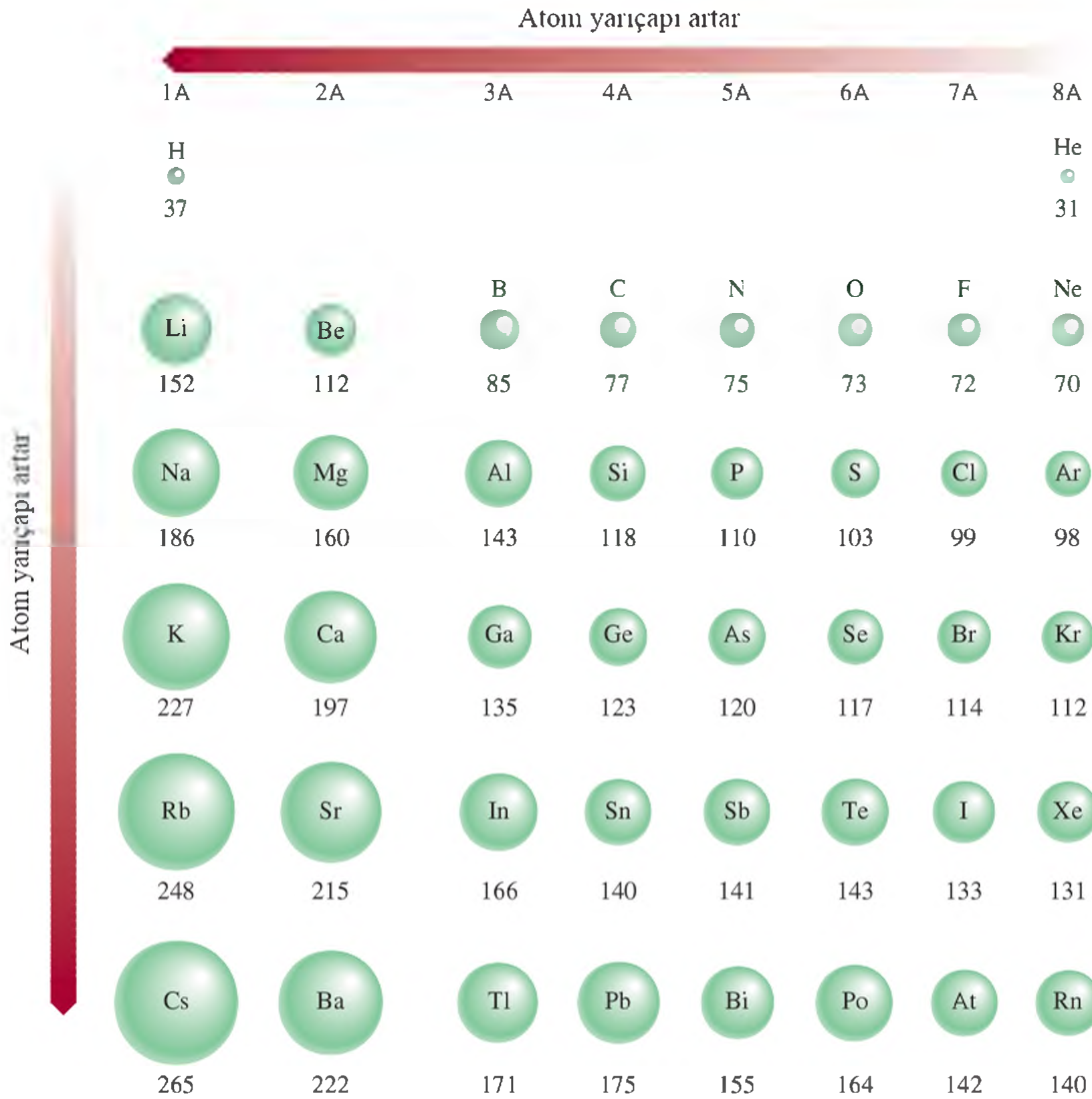
	Li	Na	K	Rb	Cs
Z	3	11	19	37	55
Z_{et}	1,28	2,51	3,50	4,98	6,36

Atom Yarıçapları

Yoğunluk, erime noktası ve kaynama noktası gibi fiziksel özelliklerin bir bölümü atomun büyüklüğüne (hacmine) bağlıdır. Ancak atom hacmini tanımlamak oldukça zordur. Bölüm 7’de gördüğümüz gibi bir atomdaki elektron yoğunluğu çekirdekten dışarıya doğru azalarak uzanır. Atomun hacmini, çekirdek çevresindeki elektron yoğunluğunun %90’ını içeren hacim olarak düşünebiliriz. Bir atomun boyutunu o atomun yarıçapına bağlı olarak tanımlayabiliriz. *Atomun yarıçapını, komşu iki metal atomunun veya iki atomlu bir molekülün, çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı olarak tanımlarız.*

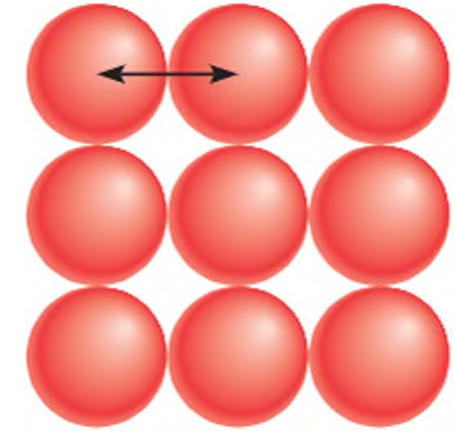
Üç boyutlu bir ağ örgüsti olacak şekilde birbirine bağlanmış olan atomların yarıçapı, komşu atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır [Şekil 8.4(a)]. Örneğin, basit bir iki atomlu molekülde, elementlerin atom yarıçapı, molekülü oluşturan iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır [Şekil 8.4(b)].

Şekil 8.5 bazı elementlerin periyodik çizelgedeki yerlerine göre atom yarıçaplarını vermektedir. Şekil 8.6 ise bu elementlerin atom numaralarına karşı atom yarıçapının grafiğe geçirilmiş halini göstermektedir. Burada periyodik eğilimler görülmektedir. İkinci periyot elementlerini ele alalım. Soldan sağa doğru gidildikçe etkin çekir-

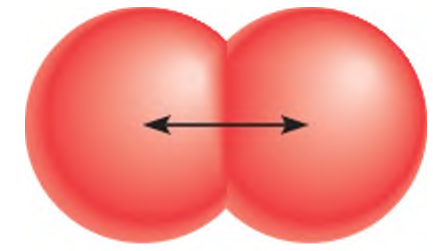


Şekil 8.5 Periyodik çizelgedeki yerlerine, göre baş grup elementlerinin atom yarıçapları (pikometre olarak). Atom yarıçaplarının sayısal büyüklüğünün genel bir eğilim göstermediğine dikkat ediniz. Sadece atom yarıçapındaki değişme eğilimleri üzerinde duracağız, onların kesin değerleri üzerinde değil.

Animasyon
Atom ve İyon Yarıçapı



(a)



(b)

Şekil 8.4 (a) Metallerde, örneğin polonyumda atom yarıçapı yan yana duran iki atomun merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı olarak tanımlanır. (b) İyot gibi iki atomlu molekülleri olan elementlerde, atomun yarıçapı moleküldeki atomların merkezleri arasındaki uzaklığın yarısıdır.

Kavramların Değerlendirilmesi

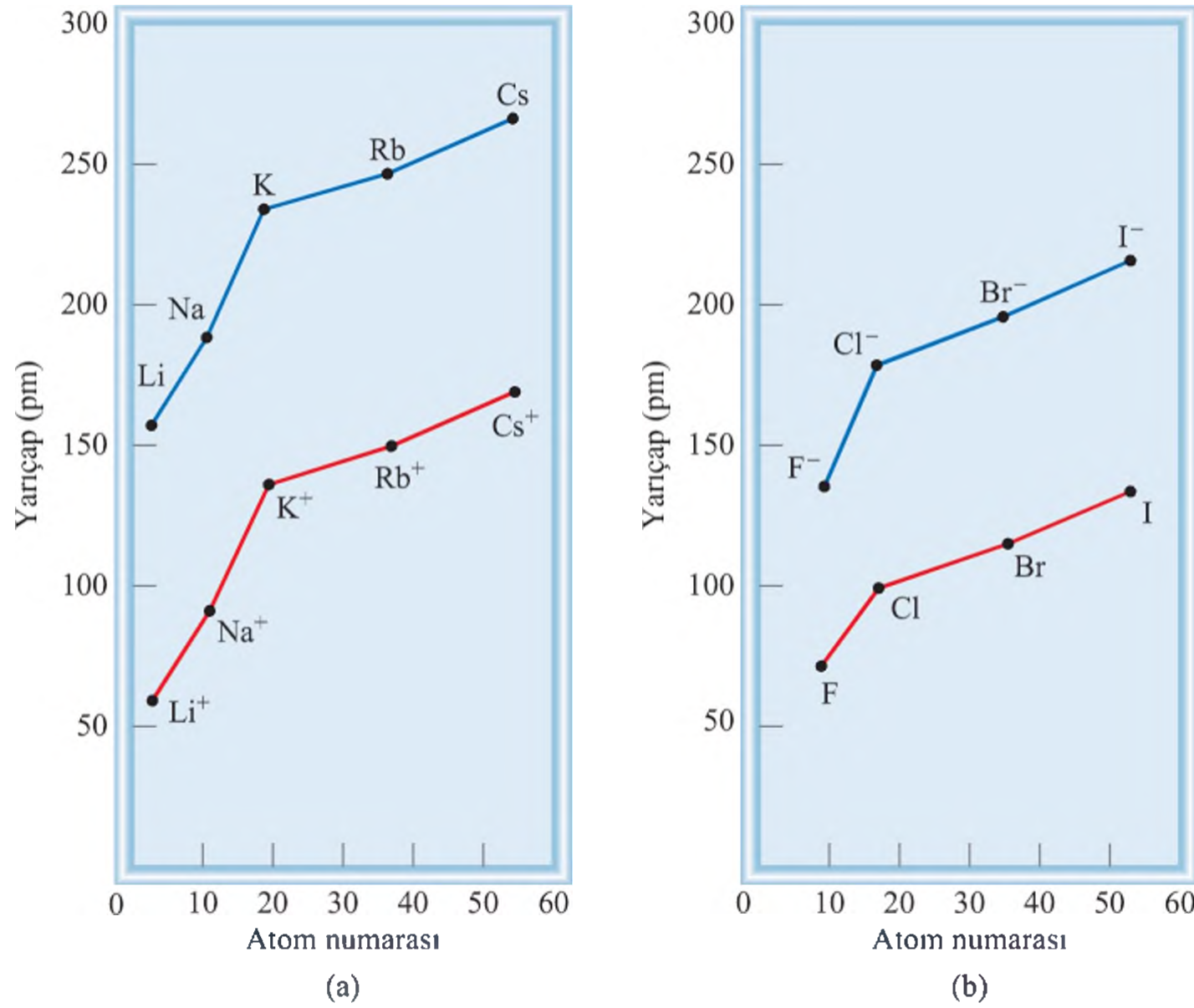
Verilen şu atom çiftlerinin boyutlarını karşılaştırmız: (a) Be, Ba; (b) Al, S; (c) ^{12}C , ^{13}C

İyonik Yarıçaplar

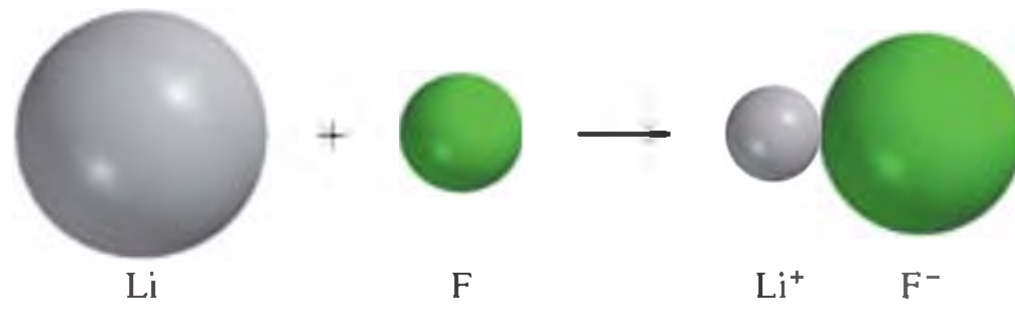
İyon yarıçapı; bir katyon veya bir anyonun yarıçapıdır. Bu yarıçaplar X- ışını kırınımı (bak. Bölüm 11) yöntemiyle ölçülebilir. İyon yarıçapları iyonik bir bileşiğin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler. Örneğin, iyonik bir bileşiğin üç boyutlu yapısı, bileşiği oluşturan katyon ve anyonların bağıl büyüklüklerine bağlıdır.

Nötr bir atom bir iyonla dönüştüğünde, hacminin değişmesini bekleriz. Eğer atomlar elektron alır ve bir anyon oluşursa, hacimleri (yarıçapı) artar. Çünkü çekirdek yükü aynı kalırken, gelen elektron veya elektronların neden olduğu itme kuvvetleri elektron bulutunun hacmini genişletir. Diğer taraftan, atomdan bir veya daha fazla elektron uzaklaşırsa, elektron itmesi azalır. Ancak çekirdek yükü aynı kaldığından elektron bulutu büzülür ve katyonun hacmi nötr atomdan daha küçük olur. Şekil 8.7 alkali metallerin katyonlarına, halojenlerin de anyonlarına dönüştüklerinde hacimlerinde meydana gelen değişimleri göstermektedir. Şekil 8.8, bir lityum atomu ile bir flor atomunun tepkimeye girerek LiF oluşturduğunda hacimlerde meydana gelen değişimleri göstermektedir.

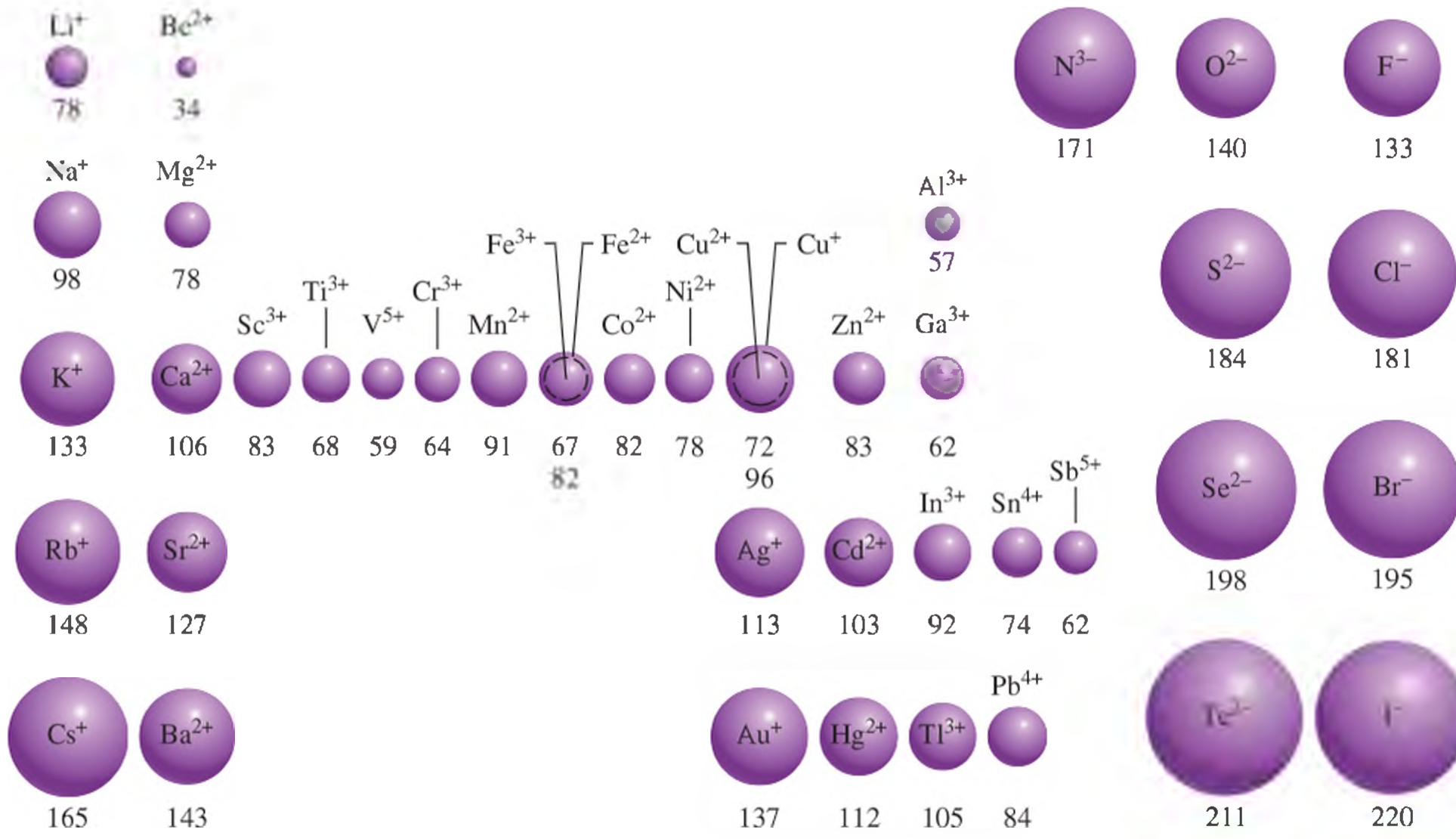
Şekil 8.9, periyodik çizelgedeki yerlerine göre, bazı çok bilinen elementlerden türetilmiş iyonların iyon yarıçaplarını göstermektedir. Buradan, atom ve iyon çapları arasında da paralel bir eğilim olduğunu görebiliriz. Örneğin, bir grup içerisinde yukarıdan aşağı-



Şekil 8.7 Atom yarıçaplarıyla iyonik yarıçapların karşılaştırılması. (a) Alkali metaller ve alkali metal katyonları. (b) Halojenler ve halojenür iyonları.



Şekil 8.8 Li ve F'dan LiF oluşurken, Li ve F boyutlarının değişimi.



Şekil 8.9 Periyodik çizelgedeki tanınmış bazı element iyonlarının, çizelgedeki yerlerine göre, pikometre olarak yarıçapları.

İzoelektronik iyonlar için, iyonların boyutu çekirdeklerindeki proton sayılarına değil, elektron bulutunun büyüklüğüne bağlıdır.

ya doğru hem atom hem de iyon yarıçapları artar. Eğer izoelektronik iseler, farklı gruplardaki elementlerden türemiş olan iyonların, hacimleri karşılaştırılabilir. İzoelektronik iyonlarda katyonlar anyonlardan daha küçük hacme sahiptir. Örneğin, Na^+ iyonu F^- den daha küçüktür. Bu iyonların her ikisi de aynı sayıda elektrona sahiptir (izoelektroniktirler). Fakat Na ($Z = 11$) atomu F ($Z = 9$) atomundan daha fazla protona sahiptir. Na^+ iyonunun daha fazla etkin yüke sahip olması, daha küçük yarıçap oluşumuna neden olur.

İzoelektronik katyonlarda, üç değerli pozitif iyonların ($+3$ yüklü iyonlar) yarıçaplarının iki değerli pozitif iyonlardan ($+2$ yüklü iyonlar) bunların da bir pozitif yüklü ($+1$ yüklü iyonlar) iyonlardan daha küçük olduğunu görebiliriz. Bu durum aynı periyottaki üç izoelektronik iyonun; (Al^{3+} , Mg^{2+} ve Na^+) hacimleri karşılaştırıldığında daha iyi anlaşılabilir (Şekil 8.9'a bakınız). Al^{3+} iyonunun elektron sayısı Mg^{2+} iyonunun elektron sayısı ile aynı olmasına rağmen Al^{3+} proton sayısı bir fazladır. Bu nedenle Al^{3+} de elektron bulutu çekirdeğe doğru Mg^{2+} ye göre daha fazla çekilmektedir. Na^+ ile karşılaştırıldığında ise Mg^{2+} nin hacmi daha küçüktür ve aynı açıklama onun için de geçerlidir. İzoelektronik anyonlarda durum katyonlarınkının tersidir. Bir değerli (-1 yüklü) iyonların yarıçapları iki değerli (-2 yüklü) olanlardan, iki değerli olanların da üç değerli (-3 yüklü) olanlardan daha küçüktür. Örneğin, oksijenin proton sayısı floridan bir eksik olduğu için oksit iyonu, florür iyonundan daha büyüktür. Bunun sebebi, çekirdeğinin çekim kuvveti daha az olduğundan O^{2-} deki elektron bulutu dışarıya doğru daha çok yayılabilir.

Örnek 8.3

Aşağıdaki iyon çiftlerinden hangi iyon daha büyüktür? (a) N^{3-} ve F^- (b) Mg^{2+} ve Ca^{2+} ; (c) Fe^{2+} ve Fe^{3+} .

İzlenecek Yol İyonları yarıçaplarına göre üç sınıfa ayırmak yararlı olur. (1) İzoelektronik iyonlar, (2) aynı grubun atomlarından türetilmiş ve aynı yükü taşıyan iyonlar ve (3) aynı atomdan türeyen farklı yükler taşıyan iyonlar. Birinci durumda, daha

(Devamı)

fazla negatif yük taşıyan iyonlar daha büyüktür. İkinci durumda daha büyük atom numarasına sahip olan atomlardan elde edilen iyonlar daha büyüktür. Üçüncü durumda daha küçük pozitif yüke sahip olan iyonlar daha büyüktür.

Çözüm (a) N^{3-} ve F^{-} izoelektronik anyonlardır; her ikisi de 10 elektrona sahiptir. N^{3-} yedi proton F^{-} ise dokuz proton içerir. N^{3-} iyonunda, çekirdek elektronlara daha zayıf bir çekim kuvveti uygular; bu nedenle N^{3-} iyonu daha büyüktür.

(b) Mg ve Ca'nın her ikisi de 2A grubundadır (toprak alkali metaller). Ca^{2+} iyonu Mg^{2+} iyonundan daha büyüktür. Çünkü, Ca'nın dış kabuk elektronları ($n = 4$) Mg'dan ($n = 3$) daha büyük n değerine sahiptir.

(c) İyonların her ikisi de aynı çekirdek yüküne sahiptir. Fakat Fe^{2+} nin elektron sayısı (24) Fe^{3+} ün elektron sayısından (23) bir fazladır. Bu yüzden, elektron–elektron itmesi Fe^{2+} da daha fazladır. Öyleyse, Fe^{2+} daha büyüktür.

Alıştırma Aşağıdaki çiftlerin her birinde, daha küçük olan iyonu seçiniz. (a) K^{+} , Li^{+} ; (b) Au^{+} , Au^{3+} ; (c) P^{3-} , N^{3-} .

Benzer problem: 8.43, 8.45.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda küreleri, verilen şu iyonlarla eşleştiriniz: S^{2-} , Mg^{2+} , F^{-} , Na^{+} .



Fiziksel Özelliklerin Bir Periyot Boyunca ve Grup İçerisinde Değişimi

Periyodik çizelgede soldan sağa doğru periyot boyunca ilerlediğimizde, metallerden yarı-metallere ve daha sonra ametallere ulaşırız. Sodyumdan argona uzanan üçüncü periyot elementlerini ele alalım (Şekil 8.10). Sodyum üçüncü periyot elementlerinin ilki olup çok reaktif bir metaldir. Buna karşın, klor üçüncü periyotun en sondan ikinci elementi olup çok reaktif bir ametaldir. Bunlar arasında kalan elementler aşama aşama metalik özellikten ametalik özelliğe doğru geçiş gösterirler. Sodyum, magnezyum ve alüminyum hepside uzayan üç boyutlu örgü yapısına sahiptirler ve metalik bağ kuvveti ile bir arada tutunurlar. Silisyum bir yarı-metaldır ve Si atomlarının çok güçlü bağlarla tutulduğu dev bir üç boyutlu yapıya sahiptir. Fosfordan başlayarak, kükürt, klor ve argon basit ve bağımsız molekül birimleri (P_4 , S_8 , Cl_2 ve Ar) halinde bulunurlar, düşük erime ve kaynama noktalarına sahiptirler.

Bir periyodik grup içerisinde, özellikle aynı fiziksel haldeki elementler ele alındığında, fiziksel özellikler tahminlere uygun olarak değişir. Örneğin, argon ve ksenonun erime noktaları sırasıyla $-189,2^{\circ}C$ ve $-111,9^{\circ}C$ 'dir. Bunlar arasında kalan kriptonun erime noktasını, bu iki değer in ortalamasını alarak yaklaşık hesaplayabiliriz:

$$Kr\text{'un erime noktası} = \frac{[(-189,2^{\circ}C) + (-111,9^{\circ}C)]}{2} = -150,6^{\circ}C$$

Bu değer, gerçek erime noktası olan $-156,6^{\circ}C$ 'ye oldukça yakındır.

Şekil 8.10 Üçüncü periyot elementleri. Aslında renksiz ve kokusuz olan argon, fotoğrafta bir boşaltım tüpünde gazın emisyonu ile oluşan renkle gösterilmiştir.



Sodyum (Na)



Magnezyum (Mg)



Alüminyum (Al)



Silisyum (Si)

Fosfor (P₄)Kükürt (S₈)Klor (Cl₂)

Argon (Ar)

Sayfa 343'deki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçası, periyodik grup özelliklerinin ilginç bir uygulamasını vermektedir.

8.4 İyonlaşma Enerjisi

Elektron dağılımı ile (bir mikroskopik özellik) sadece fiziksel özellikler arasında değil, kimyasal davranışlar (bir makroskopik özellik) arasında da yakın bir ilişki vardır. Bu kitap boyunca göreceğimiz gibi, herhangi bir atomun kimyasal özelliği, atomun değerlik elektron dağılımı tarafından belirlenir. En dıştaki bu elektronların kararlılığı, doğrudan atomun iyonlaşma enerjisi ile bağlantılıdır. ***İyonlaşma enerjisi, temel haldeki bir gaz atomundan bir elektronu uzaklaştırmak için gerekli olan minimum enerjidir (kJ/mol olarak).*** Başka bir deyişle iyonlaşma enerjisi, gaz halindeki 1 mol atomdan 1 mol elektronu sökmek için gerekli olan enerjinin kJ biriminde miktarıdır. Bu tanımda

Üçüncü Sıvı Element?

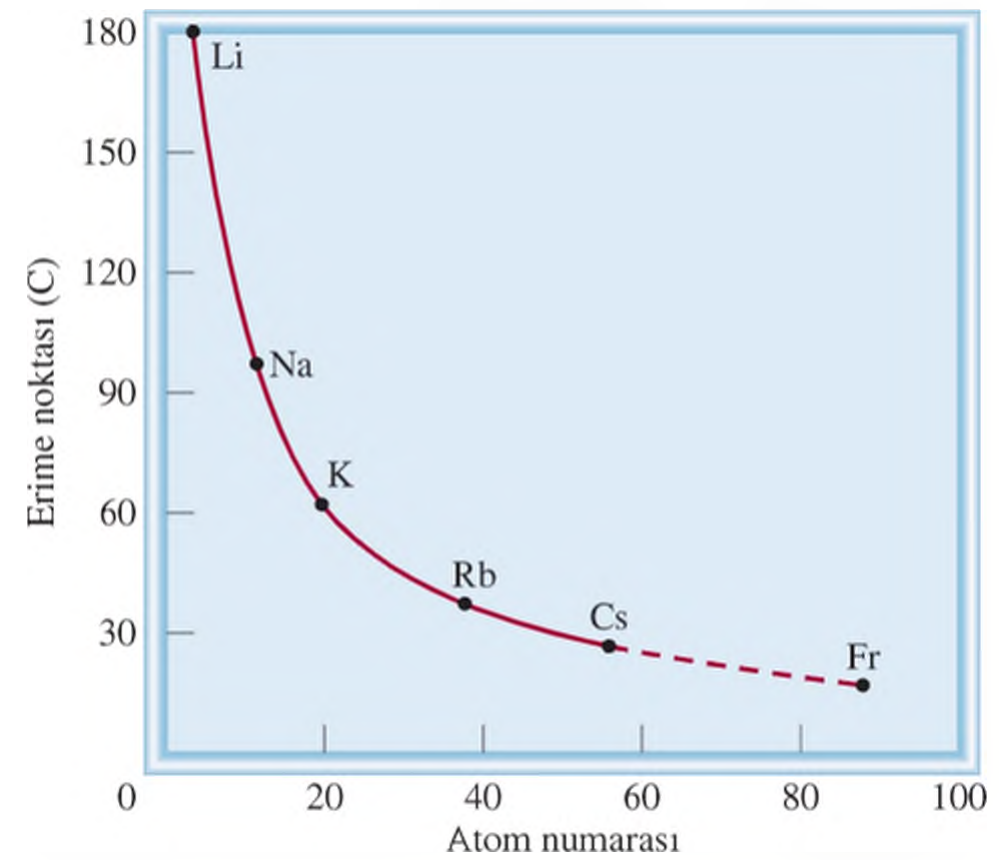
Bilinen 118 elementten 11'i atmosfer koşullarında gazdır. Bunlardan altı tanesi 8A grubu elementleridir (soy gazlardan. He, Ne, Ar, Kr, Xe ve Rn) ve geriye kalan beş element hidrojen(H₂), azot(N₂), oksijen(O₂), flor(F₂), ve klor(Cl₂)dur. Ne ilginçtir ki, 25 °C'de sadece iki element, cıva(Hg) ve brom(Br₂) sıvıdır.

Bazı elementler üzerinde inceleme yapılabilecek kadar fazla miktarlarda elde edilemediklerinden, var olan elementlerin tamamının özelliklerini bilemiyoruz. Bu durumlarda, böyle elementlerin özelliklerini tahmin etmek için, periyodik eğilimlere güvenmek zorundayız. O halde, üçüncü bir sıvı elementi keşfetme şansı nedir?

25°C'de acaba sıvı olabilir mi diye, 1A grubunun son elementi olan fransiyum(Fr) elementine bir bakalım. Fransiyumun bütün izotopları radyoaktiftir. Fransiyumun en kararlı izotopu, 21 dakika yarı ömrü olan fransiyum-223'tür. (Yarı ömür, herhangi bir miktardaki radyoaktif maddenin, parçalanarak yarıya düşmesi için geçen zamandır). Bu kadar kısa yarı ömür, beklide çok az yani eser miktarda fransiyumun Dünya'da bulunabileceği anlamına gelir. Laboratuvarlarda fransiyumun elde edilmesi mümkün olmasına rağmen, tartılabilir ya da izole edilebilir miktarda elde edilememektedir. Bundan dolayı, fransiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında çok az bilgiye sahibiz.

Örneğin fransiyumun erime noktasını ele alalım. Yandaki grafik, alkali metallerin erime noktalarının atom numarasıyla nasıl değiştiğini göstermektedir. Lityumdan sodyuma erime

noktası 81.4° düşer, sodyumdan potasyuma 34,6° düşer, potasyumdan rubidyuma 24° düşer, rubidyumdan sezyuma 11° düşer. Bu eğilimleri esas aldığımızda, sezyumdan fransiyuma olan değişimin, 5° olabileceğini tahmin edebiliriz. Eğer böyle ise, fransiyumun erime noktası 23°C olabilecektir. Bu durum, atmosfer koşullarında fransiyumu sıvı yapabilecektir.



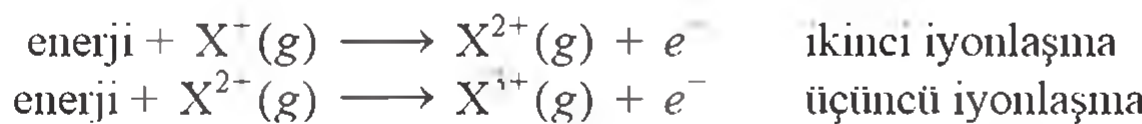
Alkali metallerde atom numarasına karşı erime noktaları grafiği. Ekstrapolasyon çizimine göre fransiyumun Erime noktası 23°C olmalıdır.

atomların gaz fazında olması gerekir. Çünkü gaz halindeki atomlar çevresindeki komşu atomlardan ve moleküller arası kuvvetlerden hemen hemen hiç etkilenmezler. Bu koşullarda ölçülen enerji miktarı iyonlaşma enerjisidir.

İyonlaşma enerjisinin büyüklüğü atomdaki elektronun ne kadar "sıkı" tutulduğunun bir ölçüsüdür. İyonlaşma enerjisi yüksek ise elektronu atomdan uzaklaştırmak son derece zordur. Çok elektronlu bir atomda, atomun temel halinden ilk elektronu uzaklaştırmak için gerekli olan enerjinin miktarı *birinci iyonlaşma enerjisi* (IE₁) olarak tanımlanır.



8.3 eşitliğinde X herhangi bir elementin atomunu, e^- ise bir elektronu göstermektedir. *İkinci iyonlaşma enerjisi* (IE₂) ve *üçüncü iyonlaşma enerjisi* (IE₃) aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.



Diğer elektronların uzaklaştırılması için süreç böylece devam ettirilebilir.

Değerlik elektronlarını atomdan uzaklaştırmak göreceli olarak kolay iken, iç elektronları uzaklaştırmak çok daha zordur. Buna göre, en son değerlik elektronun uzaklaştırılması için gerekli iyonlaşma enerjisi ile, ilk iç elektronun uzaklaştırılması için gerekli iyonlaşma enerjileri arasında oldukça büyük enerji sıçraması vardır.

Çizelge 8.2 İlk 20 Elementin İyonlaşma Enerjileri(kJ/mol)

Z	Element	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü	Beşinci	Altıncı
1	H	1312					
2	He	2373	5251				
3	Li	520	7300	11815			
4	Be	899	1757	14850	21005		
5	B	801	2430	3660	25000	32820	
6	C	1086	2350	4620	6220	38000	47261
7	N	1400	2860	4580	7500	9400	53000
8	O	1314	3390	5300	7470	11000	13000
9	F	1680	3370	6050	8400	11000	15200
10	Ne	2080	3950	6120	9370	12200	15000
11	Na	495,9	4560	6900	9540	13400	16600
12	Mg	738,1	1450	7730	10500	13600	18000
13	Al	577,9	1820	2750	11600	14800	18400
14	Si	786,3	1580	3230	4360	16000	20000
15	P	1012	1904	2910	4960	6240	21000
16	S	999,5	2250	3360	4660	6990	8500
17	Cl	1251	2297	3820	5160	6540	9300
18	Ar	1521	2666	3900	5770	7240	8800
19	K	418,7	3052	4410	5900	8000	9600
20	Ca	589,5	1145	4900	6500	8100	11000

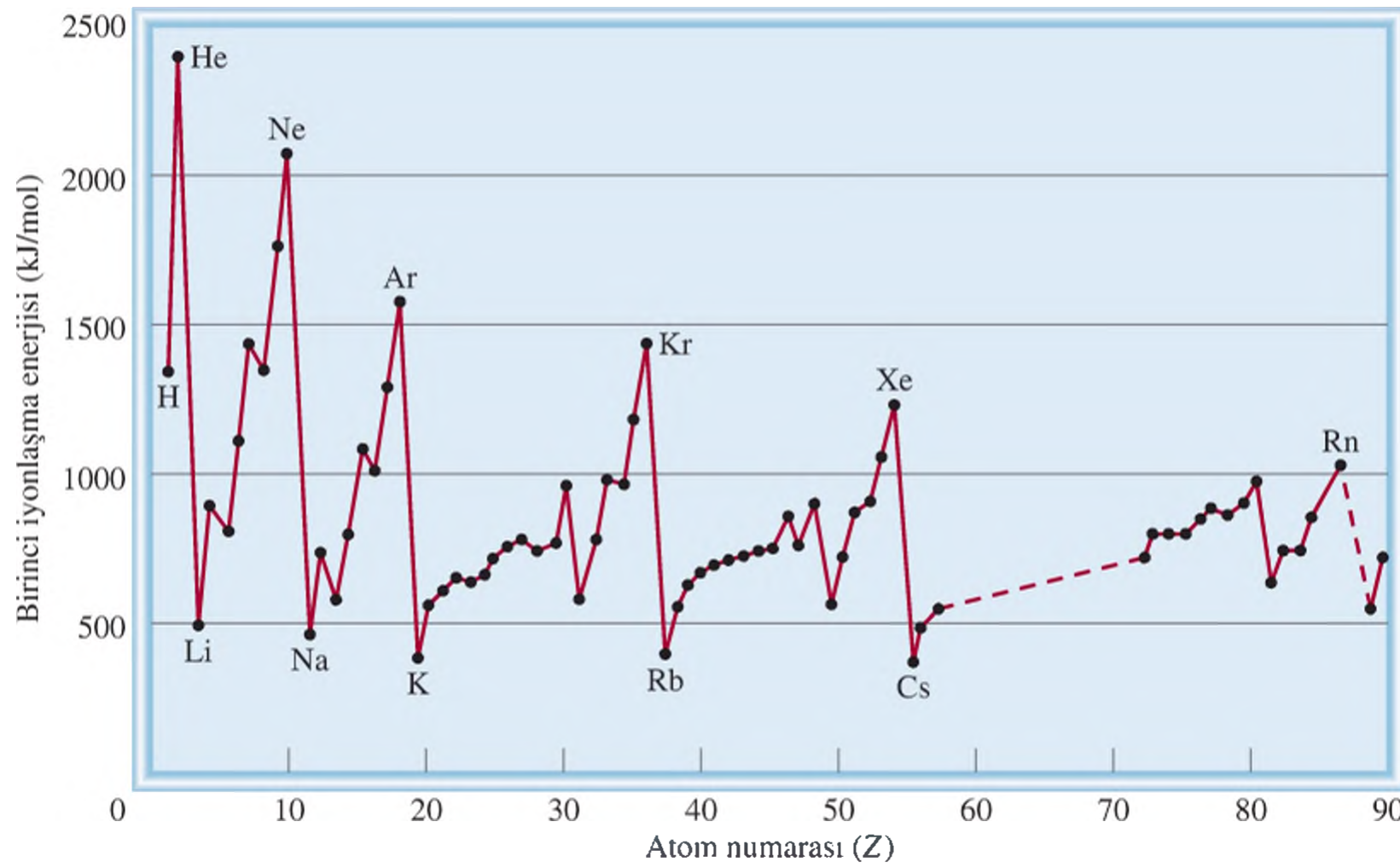
Baş grup elementlerinde iyonlaşma enerjisi periyot içerisinde soldan sağa, grup içerisinde aşağıdan yukarıya doğru artar.

Bir atomdan bir elektron uzaklaştığı zaman, kalan elektronlar arasında itme kuvveti azalır. Çekirdek yükü sabit kaldığından, pozitif yüklü iyondan başka bir elektronu uzaklaştırmak için daha fazla enerji gerekir. Bu nedenle, iyonlaşma enerjisi aşağıdaki sırayla değişir.

$$IE_1 < IE_2 < IE_3, \dots$$

Çizelge 8.2 de ilk 20 elementin iyonlaşma enerjileri verilmiştir. İyonlaşma daima endotermik (ısı alan) bir işlemdir. İyonlaşma işlemi sırasında atomlar (veya iyonlar) enerji soğurduğu için, iyonlaşma enerjisinin değeri pozitiftir. Şekil 8.11 birinci iyonlaşma enerjilerinin atom numarası ile değişimini göstermektedir. Burada en gevşek tutulan elektronlardan itibaren periyodik değişimler görülmektedir. Birkaç küçük düzensizlik dışında, elementlerin birinci iyonlaşma enerjilerinin bir periyotta atom numarasıyla birlikte arttığına dikkat ediniz. Bunun nedeni, etkin çekirdek yükünün soldan sağa doğru artmasıdır (atom yarıçapı değişiminde olduğu gibi). Etkin çekirdek yükünün büyük olması, dış elektronun çok sıkı tutulduğu anlamına gelir ve bu nedenle birinci iyonlaşma enerjisi yüksektir. Şekil 8.11’de dikkat çeken bir özellik de soy gazlara karşılık gelen piklerdir. Soy gazların iyonlaşma enerjileri çok yüksektir ve sebebi temel haldeki elektron dağılımlarının çok kararlı olmasıdır. Soy gazlar yüksek etkin çekirdek yüküne sahip olduklarından, yüksek iyonlaşma enerjisine sahiptirler ve bu yüzden kimyasal tepkimeye yatkın değildir. Gerçekten de, Helyum ($1s^2$) elementler içinde en yüksek birinci iyonlaşma enerjisine sahip olanıdır.

Şekil 8.11’deki grafiğin en altında, 1A grubunun elementleri (alkali metaller) bulunmaktadır. Bu grubun elementlerinin birinci iyonlaşma enerjileri çok düşüktür. Bu ele-



Şekil 8.11 İyonlaşma enerjisinin atom numarasıyla değişimi. Alkali metallerin ve toprak alkali metallerin iyonlaşma enerjileri düşükken, soy gazların iyonlaşma enerjilerinin yüksek olduğuna dikkat ediniz.

mentler birer değerlik elektronuna sahiptir (dış kabuktaki elektron dağılımları ns^1 dir) ve bu elektron tamamen dolu olan iç kabuklardaki elektronlar tarafından etkili bir şekilde perdelendir. Bu nedenle, dış kabuktaki bu elektron, kolayca uzaklaştırılabilir ve atom tek pozitif yüklü iyon (Li^+ , Na^+ , K^+ , ...) dönüşür. Bu katyonların hepsi, elektron dağılımları periyodik çizelgede alkali metal atomlarından önce gelen soy gazlarla izoelektroniktir.

2A grubu elementlerinin (toprak alkali metaller) iyonlaşma enerjileri alkali metallerin iyonlaşma enerjilerinden daha yüksektir. Toprak alkali metalleri iki değerlik elektronuna (dış kabuktaki elektron dağılımları ns^2 dir) sahiptirler. Bu iki s elektronu birbirlerini perdelemez. Bu nedenle, toprak alkali metallerinin son kabuğundaki elektronların gördüğü etkin çekirdek yükü, kendilerinden önce gelen alkali metalin son kabuğundaki elektronun gördüğü etkin çekirdek yükünden daha büyüktür. Toprak alkali metalleri bileşiklerinin çoğu +2 değerlikli iyonlar (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}) içerirler. Be^{2+} , Li^+ ve He atomu birbiriyle izoelektronik Mg^{2+} iyonu ise Na^+ ve Ne ile izoelektroniktir. Diğer iyonlar için de benzer eşleştirmeler yazılabilir.

Şekil 8.11 incelendiğinde metallerin, ametallere göre nispeten daha düşük iyonlaşma enerjilerine sahip oldukları görülür. Yarı metallerin iyonlaşma enerjileri metaller ve ametallerin arasına düşer. Metallerle ametallerin iyonlaşma enerjileri arasındaki fark, iyonik bileşik oluştururken neden metallerin daima katyon, ametallerin ise anyon olduklarını açıklamak için yeterlidir (tek önemli ametal katyonu amonyum katyonudur, NH_4^+). Bir grup içerisinde iyonlaşma enerjisi, artan atom numarasıyla aşağıya doğru azalır. Aynı grup içerisindeki elementler benzer dış elektron dağılımlarına sahiptirler. Baş kuantum sayısı n artarken değerlik elektronları da çekirdekten uzaklaşır. Elektronla çekirdek arasındaki uzaklığın artması demek zayıf çekim kuvveti demektir. Bu nedenle, grupta yukarıdan aşağıya doğru giderken etkin çekirdek yükü artmasına rağmen, birinci iyonlaşma enerjisi elementten elemente giderek azalır. Buna göre, gruptan aşağıya doğru inerken elementlerin metalik karakteri artar. Bu eğilim 3A'dan 7A'ya kadar olan gruplardaki elementler için oldukça belirgindir. Örneğin 4A grubunda karbon bir ametal iken, silisyum ve germanyum yarı metal, kalay ve kurşun ise metaldir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki grafikte Mg, Al ve K atomları için birinci, ikinci ve üçüncü iyonlaşma enerjileri verilmiştir. İlgili atomları grafik üzerinde belirleyiniz.



8.5 Elektron İlgisi

Atomların kimyasal davranışlarını büyük ölçüde etkileyen diğer bir özellik, bir veya birkaç elektronu kabul edebilme yeteneğidir. Bu özellik **elektron ilgisi (EI)** olarak bilinir. Elektron ilgisi, gaz halindeki bir atomun bir elektron kabul ederek anyona dönüştüğünde meydana gelen negatif enerji değişimidir.



Gaz halindeki bir flor atomunun bir elektron almasıyla oluşan işlemi göz önüne alalım:



Florun elektron ilgisinin değeri +328 kJ/mol olarak gösterilir. Bir elementin elektron ilgisi çok pozitif ise elektron kabul etme eğilimi büyük demektir. Elektron ilgisi bir başka şekilde de: anyondan bir elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Flor için aşağıdaki eşitliği yazabiliriz:



Tıpkı bir atomun yüksek iyonlaşma enerjisine sahip olması, atomdaki elektronun çok kararlı olduğu anlamına geldiği gibi, yüksek pozitif elektron ilgisi de negatif iyonun çok kararlı olduğu anlamına gelir (yani atom elektron kabul etmeye çok eğilimlidir).

Elektron ilgisi, deneysel olarak, bir anyondan elektronun uzaklaştırılması ile tayin edilir. Birçok elementin anyonu kararsız olduğundan, iyonlaşma enerjilerinin aksine, elektron ilgilerini belirlemek son derece zordur. Çizelge 8.3, bazı baş grup elementlerinin ve soy gazların elektron ilgilerini göstermektedir. Şekil 8.12'de, ilk 56 elementin, atom numarasına karşı elektron ilgilerinin grafiği gösterilmektedir. Periyot boyunca soldan sağa doğru genel olarak atomların elektron kabul etme eğilimlerinin arttığı ve elektron ilgisi değerlerinin daha pozitif olduğu görülmektedir. Metallerin elektron ilgileri, genellikle ametallerinkinden daha düşüktür. Grup içerisinde elektron ilgilerinin değişimi genellikle küçüktür. 7A grubu elementleri, yani halojenler, en yüksek elektron ilgisine sahiptirler.

Eğer tepkime ekzotermik ise elektron ilgisi pozitif, endotermik ise negatiftir. Bu kabul, inorganik ve fizikokimya kitaplarında kullanılmaktadır.

jili bir np orbitaline girer. Bu elektron ns^2 elektronlarınca etkin bir şekilde perdelen-
diğinden daha zayıf bir çekirdek çekimine maruz kalır. Buna göre, karşılık gelen 1A
grubu elementine göre daha düşük elektron ilgisine sahiptir. Benzer şekilde bir Grup 5A
elementine (ns^2np^3) bir elektron eklemek. karşılık gelen Grup 4A elementine (ns^2np^2)
göre çok daha zordur. Çünkü Grup 5A elementine eklenecek olan elektron. zaten her
orbitalinde bir elektron bulunan np orbitaline eklenerek daha fazla elektrostatik itme
kuvvetine maruz kalacaktır. Son olarak, soy gazlar yüksek etkin çekirdek yüklerine
rağmen son derece düşük elektron ilgisine (sıfır veya negatif değerler) sahiptirler.
Bunun nedeni, ns^2np^6 elektron dizilişine sahip olan bir soy gaza eklenecek olan elekt-
ron, $(n + 1)s$ orbitaline girmek zorunda olduğundan ve bu orbital iç elektronlarca çok
iyi perdelenmiş olduğundan, buraya gelebilecek olan elektron çekirdek tarafından neredeyse
çekilemez. Bu analiz aynı zamanda, neden değerlik kabukları tamamen dolu olan tür-
lerin kimyasal olarak kararlı olma eğiliminde olduğunu da açıklar.

Toprak alkali metallerin neden elektron kabul etmeye büyük bir eğilim gösterdikleri Örnek 8.5’de açıklanmaktadır.

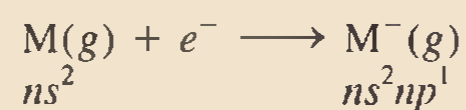
Bir grupta, yukarıdan aşağıya doğru elektron ilgilerindeki değişim çok azdır (bak. Çizelge 8.3)

Ornek 8.5

Çizelge 8.3’de görüldüğü gibi, toprak alkali metallerinin elektron ilgileri niçin negatif ya da sıfıra yakın pozitif değerlere sahiptir?

İzlenecek Yol Toprak alkali metallerinin elektron dağılımları nasıldır? Atoma eklenecek elektron, çekirdek tarafından güçlü bir şekilde tutulabilir mi?

Çözüm Toprak alkali metallerinin son kabuklarındaki elektron dağılımları ns^2 dir. Burada n en yüksek baş kuantum sayısıdır. Eğer bu elementlerden herhangi birine bir elektron gelirse;



dağılımı oluşur. Burada M, 2A grubu metallere herhangi birini göstermektedir. Metalin dışarıdan aldığı elektron np alt kabuğuna girmelidir. Bu kabuktaki elektronlar iki ns elektronu (ns elektronları perdeleme açısından np elektronlarından çok daha etkilidir) ve diğer iç elektronlar tarafından etkili bir şekilde perdelenir. Bu nedenle, toprak alkali metallere elektron almaya ve tutmaya karşı eğilimleri çok azdır.

Aleştirma Ar atomu, Ar iyonu oluşturmaya eğilimli midir? Açıklayınız.

[illegible]

Benzer problem m: 8.63.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bu atomun tüm iyonlaşma enerjilerini elektronlarını sırasıyla uzaklaştırarak ölçmek mümkünken, neden elektron ilgileri için bu artarak zorlaşmakta, hatta ilk aşamadan öteye gitmek çoğu kez imkansız olmaktadır?

8.6 Baş Grup Elementlerinin Kimyasal Özelliklerindeki Değişim

İyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi elementlerin tepkimelerini, tepkime türlerini ve oluşan bileşiklerin niteliğini anlamamıza yardımcı olur. Bu iki değer, basit bir yaklaşımla, birbiriyle bağlantılıdır. İyonlaşma enerjisi bir atomun kendi elektronuna olan ilgisinin göstergesi iken, elektron ilgisi atomun dışarıdan aldığı ilave elektrona karşı

olan ilgisini belirtir. Bu iki kavramı birlikte düşündüğümüzde, atomun elektronlara karşı olan genel ilgisini de anlayabiliriz. Buna göre elementlerin kimyasal davranışlarını sistematik olarak inceleyebilir, elektron dağılımı ile kimyasal özellikler arasındaki bağıntıyı da kavrayabiliriz.

Metalik karakterin bir periyotta soldan sağa doğru *azaldığını*, grup içerisinde ise, yukarıdan aşağıya doğru *arttığını* görmüştük. Buna göre, metallerin iyonlaşma enerjilerinin düşük, ametallerin ise, elektron ilgilerinin yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Bu bilgilere dayanarak, bu elementleri içeren bir tepkimenin ürünlerini çoğunlukla tahmin edebiliriz.

Kimyasal Özelliklerdeki Genel Eğilimler

Gruplardaki elementleri incelemeden önce, bazı genel eğilimleri görelim. Aynı gruptaki elementlerin kimyasal davranışlarının, aynı dış kabuk elektron dağılımlarına sahip oldukları için, benzer olacağını söyleyebiliriz. Bu ifade genel olarak doğru olmasına karşın, yine de ihtiyatlı olmalıyız. Kimyacılar uzun zamandır her bir grubun ilk elementinin (ikinci periyotta lityumdan flora kadar olan elementler) grubun diğer üyelerinden farklı olduğunu bilirler. Örneğin, lityum elementi alkali metallerin karakteristik özelliklerinin çoğuna sahip olmakla birlikte, bazı özellikleri yönünden farklıdır. Benzer şekilde berilyum 2A grubunun farklı özelliklere sahip olan bir üyesidir. Diğer grupların da ilk elementleri grubun diğer üyelerinden farklıdır. Bu fark, her bir grupta ilk elementin oldukça küçük boyutlarda olmasına yorulabilir (bak Şekil 8.5).

Baş grup elementlerinin kimyasal davranışlarında görülen bir diğer eğilim ise çapraz bağıntılardır. **Çapraz bağıntılar periyodik çizelgenin farklı grup ve periyotlarındaki element çiftleri arasında görülen benzerliklerdir.** Özellikle ikinci periyodun ilk üç üyesi (Li, Be ve B) kendilerinin sağ alt taraflarında bulunan elementlerle birçok benzerliğe sahiptirler (Şekil 8.13). Bu olgunun nedeni, katyonlarının yük yoğunluklarının birbirlerine çok yakın olmasıdır (*yük yoğunluğu* iyonun yükünün hacmine bölümüne eşittir). Yük yoğunlukları benzer olan katyonlar, anyonlarla benzer tepkimeler verirler ve aynı tip bileşikler oluştururlar. Bu yüzden, lityumun kimyası bazı açılardan magnezyumun kimyasına benzer. Berilyum ile alüminyum, bor ile silisyum arasında da aynı ilişki vardır. Bu çiftlerin birbirleri ile çapraz bağıntı gösterdikleri söylenebilir. İlerde bu ilişkinin bir kaç örneğini daha göreceğiz.

Eğer aynı tip elementlerin metalik özellikleri ile ilgileniyorsak, aynı grupta bulunan elementlerin özelliklerini karşılaştırmak çok yararlı olacaktır. Bu yöntem tümü metal olan 1A ve 2A gruplarına ve tümü ametal olan 7A ve 8A gruplarına uygulanabilir. 3A grubundan 6A grubuna kadar olan elementlerde, grup içerisinde yukarıdan aşağıya doğru ametalden metale ya da ametalden yarı metale doğru bir değişim vardır. Bu değişim, değerlik elektronlarının dağılımı benzer olsada, kimyasal özelliklerde büyük farklara neden olur.

Şimdi baş grup elementlerinin ve soy gazların kimyasal özelliklerine daha yakından bakalım (Geçiş metallerinin kimyasını Bölüm 23’de inceleyeceğiz).

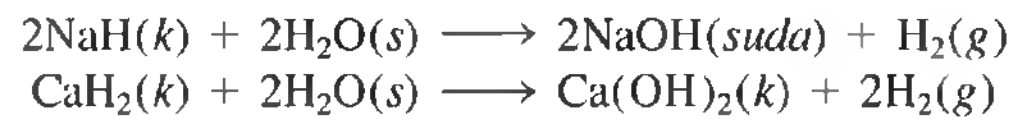
1A	2A	3A	4A
Li	Be	B	C
Na	Mg	Al	Si

Şekil 8.13 Periyodik tablodaki çapraz bağıntılar.

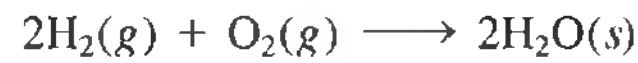
Hidrojen (1s¹)

Periyodik çizelgede hidrojen için uygun bir konum yoktur. Hidrojen geleneksel olarak 1A grubunda gösterilirse de, aslında kendi başına bir grup olabilir. Alkali metaller gibi hidrojenin de bir tane s değerlik elektronu vardır ve sulu çözeltide hidratize olabilen tek yüklü iyon (H⁺) oluşturur. Diğer yandan hidrojen, NaH ve CaH₂ gibi iyonik bileşiklerde hidrür (H⁻) iyonu da oluşturur. Bu açıdan hidrojen, halojenlere de

benzer. Çünkü halojen atomları da tıpkı hidrür iyonu gibi, iyonik bileşiklerinde tek negatif yüklü iyonlar halinde bulunur (F⁻, Cl⁻, Br⁻ ve I⁻ gibi). İyonik hidrürler suyla tepkimeye girerek hidrojen gazı ve metal hidroksitleri verirler:

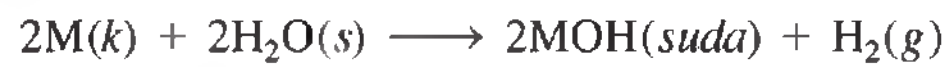


Kuşkusuz, hidrojenin en önemli bileşiği sudur. Havada hidrojen yanmasıyla su oluşur:

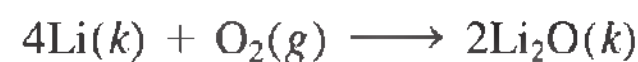


1A Grubu Elementleri (ns^1 , $n \geq 2$)

Şekil 8.14, 1A grubu elementlerini; yani alkali metalleri göstermektedir. Bu elementlerin tümünün, iyonlaşma enerjileri düşüktür. Bu nedenle, tek elektronlarını kaybetme eğilimleri çok yüksektir. Bu elementler yaptıkları bileşiklerin büyük çoğunluğunda +1 yüklü iyonlar oluştururlar. O kadar etkindirler ki, doğada asla saf halde bulunmazlar. Suyla tepkimeye girerek hidrojen gazı ve karşılık gelen metal hidroksitleri verirler.



Burada M harfi her hangi bir alkali metali göstermektedir. Hava ile temas ettikleri zaman oksijenle birleşerek oksitlerini oluştururlar. Böylece parlaklıklarını yavaş, yavaş kaybederler. Örneğin, Li hava ile temas ettiğinde lityum oksiti oluşturur. (O^{2-} iyonu bulunmaktadır).

[illegible]

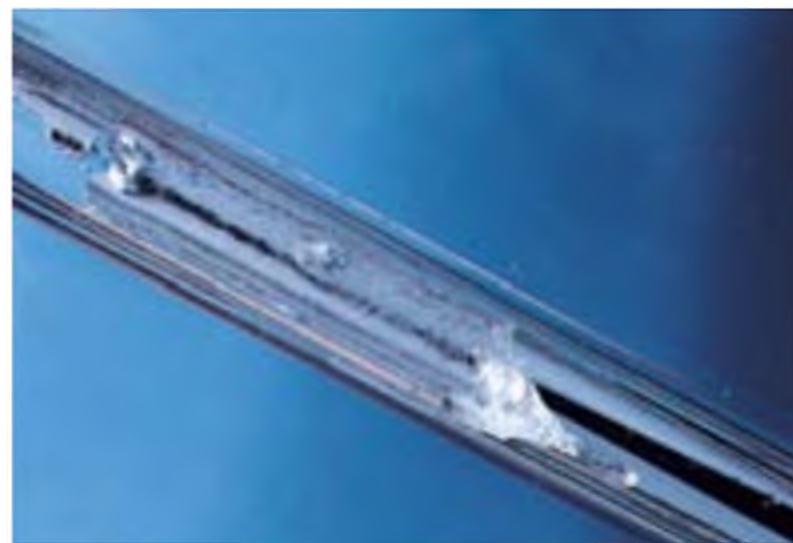
Lithium (Li)



Sodium (Na)



Polasyum (K)



Rubidyum (Rb)



Scyzym (Cs)

Şekil 8.14 Grup 1 A elementleri: alkali metaller. Fransiyum radyoaktiftir ve gösterilmemiştir.

Toprak alkali metallerin oksijene karşı olan etkinlikleri Be'dan Ba'a doğru artar. Berilyum ve magnezyum oksitleri (BeO ve MgO) ancak yüksek sıcaklıkta oluşabilirken, CaO, SiO ve BaO oda sıcaklığında oluşabilir.

Magnezyum, sulu asit çözeltileri ile tepkiyerek hidrojen gazı çıkarır:

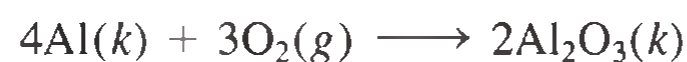


Kalsiyum, stronsiyum ve baryum da sulu asit çözeltileriyle tepkimeye girerek hidrojen gazı oluşur. Bu metaller su ile de tepkimeye girebildikleri için, iki farklı tepkime aynı anda beraberce gerçekleşecektir.

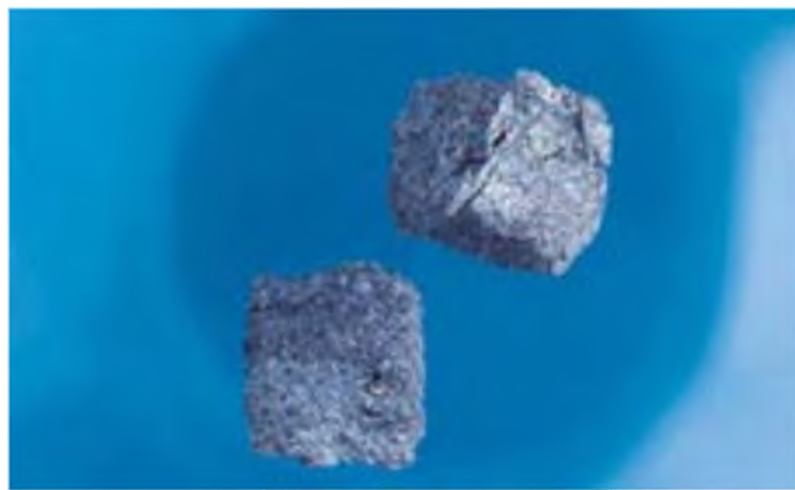
Kalsiyum ve stronsiyumun kimyasal özellikleri periyodik grup benzerliği için ilginç bir örnek oluşturur. Stronsiyum-90 radyoaktif bir izotopdur ve atom bombası patlamasının ana ürünüdür. Bir atom bombası patladığında oluşan Sr-90 çöker, toprağa ve suya karışır. Vücudumuz besin zinciri yoluyla bu radyoaktif izotopu alır. Örneğin, inekler bu element tarafından kirlenmiş (Sr-90 bulaşmış) otları ve suyu alırsa, sütlerine Sr-90 geçer. Kalsiyum ve stronsiyum kimyasal olarak benzer olduklarından Sr^{2+} iyonları zamanla kemiklerimizdeki Ca^{2+} iyonları ile yer değiştirirler. Bu değişimin sonunda, vücudumuz radyoaktif Sr-90 izotoplarının yaydığı yüksek enerjili ışıma maruz kalır. Bu ışının nedeniyle kansızlık, lösemi ve diğer kronik rahatsızlıklar ortaya çıkar.

3A Grubu Elementleri (ns^2np^1 , $n \geq 2$)

3A Grubunun ilk üyesi olan bor yarı metal. diğer üyeleri metaldır (Şekil 8.16). Bor ikili iyonik bileşikler oluşturmaz. oksijen gazı ve su ile de tepkime vermez. Bordan sonra gelen ikinci element alüminyum, havada bırakıldığında kolayca alüminyum oksit bileşiğini oluşturur:



1A	2A						3A	4A	5A	6A	7A	8A
							B					
							Al					
							Ga					
							In					
							Tl					



Bor (B)



Aluminyum (Al)



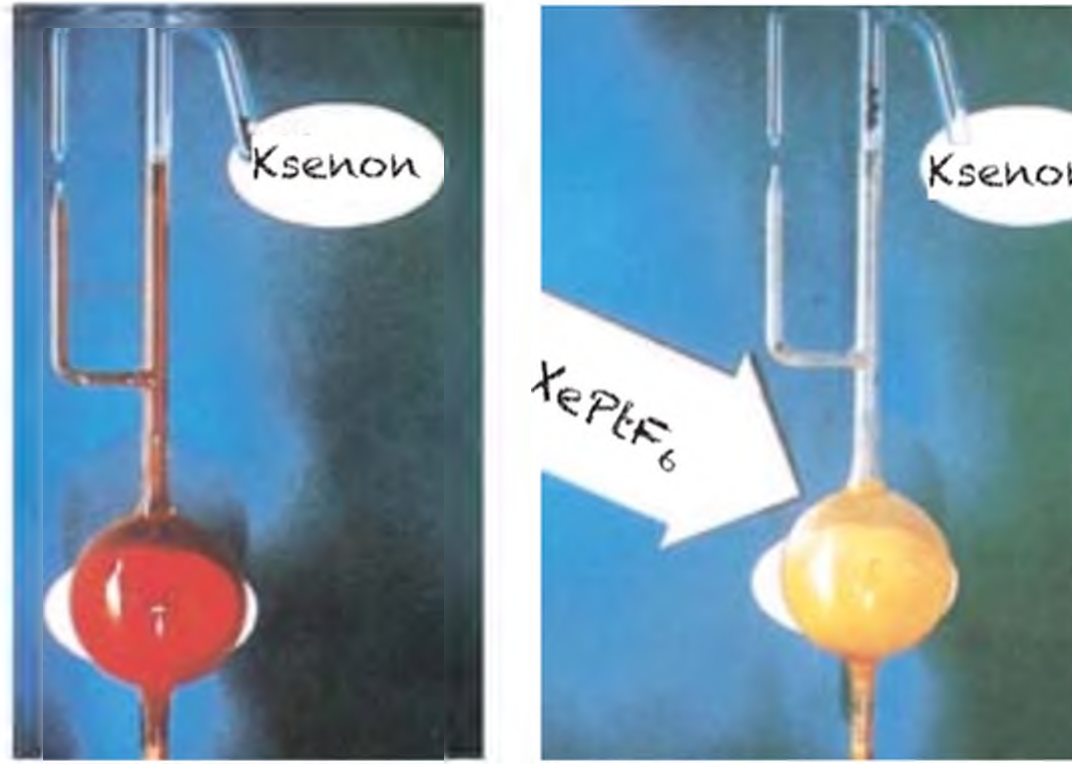
Gallium (Ga)



İndiyum (In)

Şekil 8.16 3A grubu elementleri. Galyumun erime noktası çok düşüktür ($29,8^{\circ}\text{C}$). Avucumuza aldığımız zaman elementin eridiğini görürüz.

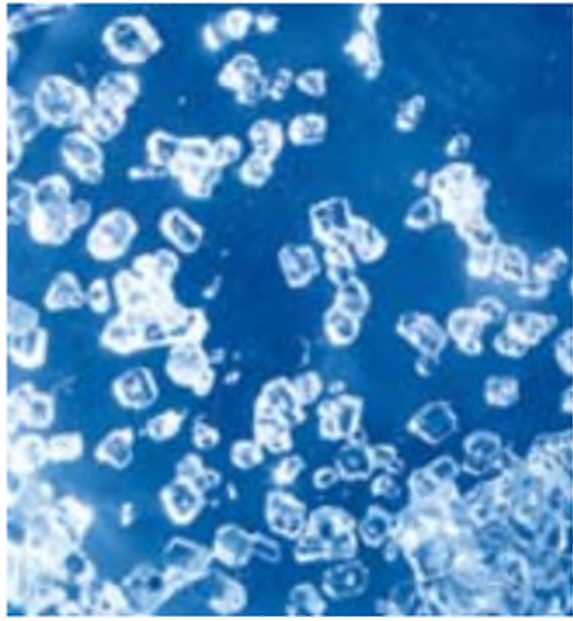
Şekil 8.22 (a) Ksenon gazı (renksiz) ve PtF_6 (kırmızı gaz) birbirlerinden ayrılır. (b) İki gaz birbirlerine karıştırıldığında sarı-turuncu renkli katı bir bileşik oluşur. Bileşiğin formülünün başlangıçta yanlışlıkla $XePtF_6$ olarak verildiğine dikkat ediniz.



2000 yılında kimyacılar sadece çok düşük sıcaklıkta kararlı olan, argon içeren bir bileşiği (HArF) elde ettiler.

O zamandan bu yana, çok sayıda ksenon bileşiği (XeF_4 , XeO_3 , XeO_4 , $XeOF_4$ gibi) ve birkaç tane de kripton bileşiği (KrF_2 gibi) elde edildi (Şekil 8.23). Soy gazlar kimyasına olan büyük ilgiye rağmen, bileşikleri ticari uygulamalarda fazla yer bulamadı. Ayrıca bu bileşikler doğal biyolojik süreçlerde de yer almamaktadır. Hala, helyum ve neonun herhangi bir bileşiği bilinmemektedir.

1A	2A		3A	4A	5A	6A	7A	8A
Li								
Na								
K								
Rb								
Cs								
Fr								



Şekil 8.23 Ksenon tetraflorür (XeF_4) kristalleri.

1A	2A		3A	4A	5A	6A	7A	8A
Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	

Grup 1A ve Grup 1B Elementlerinin Karşılaştırılması

Grup 1A elementleri(alkali metaller) ile Grup 1B elementlerini(bakır, gümüş ve altın) karşılaştırdığımızda, ilginç bir sonuca ulaşırız. Bu iki gruptaki metaller benzer dış elektron dağılımlarına sahip olmalarına rağmen, en dışta bulunan s orbitalindeki bir elektrondan dolayı, kimyasal özellikleri birbirlerinden oldukça farklıdır.

Cu, Ag ve Au'nun birinci iyonlaşma enerjileri sırasıyla 745 kJ/mol, 731 kJ/mol ve 890 kJ/mol'dür. Bu değerler alkali metallerin birinci iyonlaşma enerjilerinden(bak. Çizelge 8.2) oldukça fazla olduğundan, Grup 1B metalleri çok daha az reaktiftir. Grup 1B elementlerinin yüksek iyonlaşma enerjileri, içteki d elektronları tamamen dolu olan ve etkin bir perdeleme yapan soy gaz göbeğine kıyasla, tam olarak perdelenememesinin bir sonucudur. Buna göre, bu elementlerin en dış s elektronları çekirdek tarafından çok güçlü olarak çekilirler. Gerçekte bakır, gümüş ve altının kimyasal etkinlikleri o kadar azdır ki, tabiatta bu elementler genellikle birleşmemiş olarak bulunurlar. Bu metallerin inertliği ve az bulunmaları, onları madeni para ve mücevher yapımında değerli hale getirir. Bundan dolayı bu metaller "para metali" de denir. Grup 2A(toprak alkali metaller) ile Grup 2B(çinko, kadmiyum, ve cıva) arasındaki kimyasal özelliklerin farklılığı da, benzer şekilde açıklanabilir.

Oksitlerin Özelliklerinin Bir Periyot Boyunca Değişimi

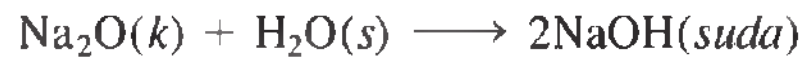
Baş grup elementlerinin özelliklerini bir periyot boyunca karşılaştırmamızın yolu, bir seri benzer bileşiğin özelliklerini incelemektir. Oksijen hemen hemen tüm elementlerle birleştiğinden, üçüncü periyot elementlerinin oksitlerinin özelliklerini karşılaştırarak, metallerin yarı metal ve ametallerden nasıl ayrıldığını yani farklılaştığını göreceğiz. Üçüncü periyottaki bazı elementler (P, S ve Cl) birkaç farklı oksit oluşturabilirler. Ancak anlamayı kolaylaştırmak için bunların en büyük yükseltgenme basamağında olan oksitlerini inceleyeceğiz. Çizelge 8.4'de bu oksitlerin bazı genel özellikleri sıralanmaktadır. Önceki konularımızda oksijenin oksit iyonu oluşturma eğilimi olduğunu gördük. Bu eğilim, oksijen özellikle 1A grubu ve 2A grubu elementleri ya da alüminyum gibi iyonlaşma enerjisi düşük metallerle tepkimeye giriyorsa çok güç-

Çizelge 8.4 Üçüncü Periyot Elementlerinin Oksitlerinin Bazı Özellikleri

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₄ O ₁₀	SO ₃	Cl ₂ O ₇
Bileşiğin tipi	← İyonik →			← Moleküler →			
Yapısı	← Kristal yapı →			← Bağımsız moleküler birimler →			
Erime noktası (°C)	1275	2800	2045	1610	580	16,8	-91,5
Kaynama noktası (°C)	?	3600	2980	2230	?	44,8	82
Asit-Baz özelliği	Baz	Baz	Amfoter	← Asit →			

lütür. Bu nedenle, Na₂O, MgO, ve Al₂O₃ iyonik bileşiklerdir ve bu oksitlerin erime ve kaynama noktaları çok yüksektir. Her katyonun belli sayıda anyon, her anyonun da belli sayıda katyon tarafından sarılı olduğu üç boyutlu uzanan yapılar oluştururlar. Elementlerin iyonlaşma enerjileri soldan sağa doğru artarken, oksitlerin özellikleri de iyonikten, moleküllere doğru değişmeye başlar. Silisyum, bir yarı metaldir. Oksidi (SiO₂), içinde hiç iyon içermeyen dev üç boyutlu ağ yapısı oluşturur. Fosfor, kükürt ve klorun oksijenle olan bileşikleri küçük bağımsız birimlerden oluşan moleküler bileşiklerdir. Moleküller arasındaki düşük çekim kuvvetleri nedeniyle, bu bileşiklerin erime ve kaynama noktaları düşüktür.

Oksitlerin bir çoğu, suda çözüldüklerinde asit veya baz oluşturup oluşturmadıklarına göre, ya da belli işlemlerde asit veya baz gibi davranıp davranmadıklarına göre, asit oksitler ya da baz oksitler diye sınıflandırılırlar. Bazı oksitler *hem asit hem de baz özelliklerini gösterdikleri* için bunlar **amfoter** oksitler olarak adlandırılırlar. Üçüncü periyodun ilk iki oksidi, Na₂O ve MgO baz oksittir. Örneğin: Na₂O su ile tepkimeye girdiğinde bir baz olan sodyum hidroksiti oluşturur.



Magnezyum oksit suda oldukça az çözünür, yani su ile önemli ölçüde tepkime vermez. Buna karşın, asitlerle verdiği tepkime bir asit-baz tepkimesinin özelliklerini gösterir.

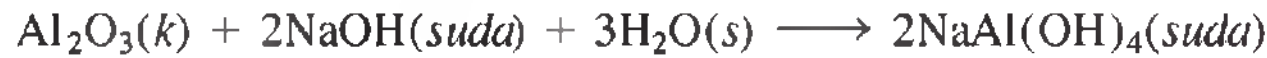


Bu tepkimenin ürünlerine dikkat ederseniz, bir tuz olan MgCl₂ ve su oluştuğunu ve bu ürünlerin alışılmış asit-baz nötürleşme tepkimesinin ürünleri olduğunu gördünüz.

Alüminyum oksit suda magnezyum oksit kadar bile çözünmez. Yani su ile tepkime vermez. Ancak, asitlerle tepkimeye girdiğinde baz özelliği,



bazlarla tepkimeye girdiğinde ise asit özelliği gösterir:



Hem asit hem de baz özelliği gösteren Al₂O₃ **amfoter oksittir**. Diğer amfoter oksitler ZnO, BeO ve Bi₂O₃'tür.

Silisyum dioksit suda çözünmez ve tepkime vermez. Çok derişik bazlarla tepkime verdiğinden, asit özelliklerine sahiptir.



Bu nedenle NaOH gibi güçlü bazların derişik çözeltilerinin, SiO₂'den oluşan cam kaplarda saklanması önerilmez.

Bu asit baz nötürleşmesinin bir tuz ürettiğine ancak su üretmediğine dikkat ediniz.

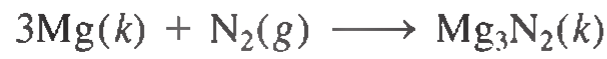
Soy Gazların Keşfi

1800'lerin sonlarında, İngiltere Cambridge'de bulunan Cavendish laboratuvarında bir fizik profesörü olan Rayleigh'ın üçüncü baronu John William Strutt, belirli sayıda elementin atom kütlelerini doğru olarak belirledi. Ancak, azot ile sonuçlanan bir bulmaca elde etti. Azot elde etmek için yöntemlerinden birisi, amonyakın termal bozunmasıydı:



Diğer bir yöntem, hava ile başlamak ve azotu oksijenden, karbondioksitten ve su buharından uzaklaştırmaktı. Ancak, şaşırtıcı bir şekilde havadan elde edilen azot, amonyaktan elde edilen azottan istisnasız birazcık daha yoğun (yaklaşık %5) bulunuyordu.

Lord Rayleigh'ın bu çalışmaları Londra'da University College'de bir kimya profesörü olan Sir William Ramsay'in dikkatinden kaçmadı. 1898'de Ramsay, havadan Rayleigh yöntemi ile elde ettiği azotu magnezyum nitrit'e çevirmek için kızgın-sıcak magnezyum tüzerinden geçirdi.



Azotun tamamı magnezyum ile tepkimeye girdikten sonra, Ramsay, hiçbir şey ile birleşmeyen, bilinmeyen bir gazla karşılaştı.

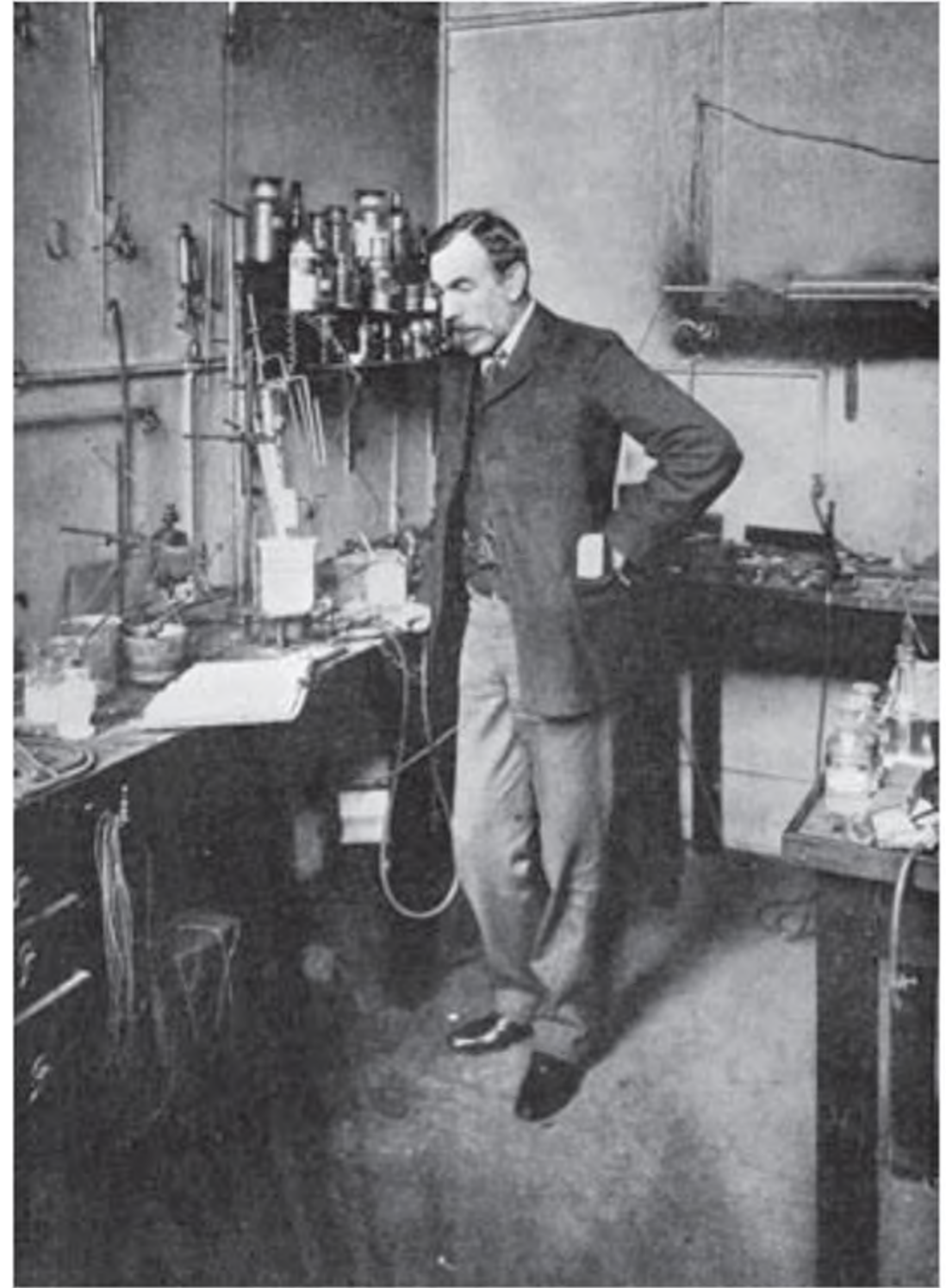
Boşaltım tüpünün (deşarj tüpü) mucidi olan Sir William Crookes'un yardımıyla, Ramsay ve Lord Rayleigh, bu gazın emisyon spektrumunun bilinen gazların hiç biri ile uyuşmadığını gördüler. Bu gaz yeni bir elementti! Bu elementin atom kütlelerini 39,95 akb olarak belirlediler ve onu Yunanca'da "tembel biri" anlamına gelen argon olarak adlandırdılar.

Bir kere argon keşfedildikten sonra, diğer gazlar hızla tespit edildi. Yine, Ramsay, 1898'de helyumu uranyum cevherlerinden(bak. s.326. Kimyasal Gizem) ayırdı. Ramsay, helyum ve argonun atom kütlelerinden, kimyasal tepkime vermemelerinden ve periyodik çizelge ile ilgili bildiklerinden, başka inert gazlarında olduğuna ve onların tamamının bir periyodik gruba ait olduklarına inanmıştı. Ramsay ve öğrencisi Morris Travers, bilinmeyen gazları bulmak için yola koyuldular. İlk kez sıvı havayı oluşturmak için bir soğutma makinesi kullandılar. *Ayrımsal damıtma* adı verilen bir tekniği uyguladılar ve sıvı havanın kademeli ısınmasına izin verdiler. Farklı sıcaklıklarda kaynayan bileşenleri topladılar. Böylelikle sadece üç ayda, üç yeni elementi(neon, kripton ve ksenon) analiz ve tespit ettiler. Üç ayda üç yeni elementin keşfi, asla kırılmayacak olan bir rekordur!

Soy gazların keşfi, periyodik çizelgenin tamamlanmasına yardımcı oldu. Onların atom kütleleri, bu elementlerin halojenlerin sağında yer alması gerektiğini söylüyordu. Argonun periyodik çizelgedeki yeri konusundaki uyumsuzluk, bu bölümde tartışıldığı gibi, Moseley tarafından çözüldü.

Son olarak, soygazların en son üyesi olarak radon 1900 yılında Alman kimyacı Frederick Dorn tarafından keşfedildi. Radon elementel halde bilinen en ağır gazdır ve radyoaktif bir elementtir. Radonun keşfi sadece 8A grubunun tamamlanmasını sağlamadı, aynı zamanda elementlerin radyoaktif bozunması ve birbirine dönüşimleri konusundaki ilerlemelerde katkı sağladı.

Lord Rayleigh and Ramsay, her ikisi de, argonun keşfinden dolayı 1904'de Nobel ödülü aldılar. Lord Rayleigh ödülünü fizik alanında aldı ve Ramsay'ın ödülü kimya alanında oldu.



Sir William Ramsay (1852–1916).

3. Elementlerin fiziksel özelliklerindeki periyodik değişimler, atom yapılarındaki farklılıkları yansıtır. Elementlerin metal karakteri bir periyot boyunca azalır, metalden yarı metale ve daha sonra da ametale döner. Yine metal karakteri, baş grup elementlerinin herhangi bir grubunda, yukarıdan aşağıya doğru artar.
4. Atom yarıçapları, periyodik çizelgede elementlerin dizilişiyle periyodik olarak değişir. Soldan sağa doğru azalırken, yukarıdan aşağıya doğru artar.
5. İyonlaşma enerjisi, atomun elektronunu kaybetmeye karşı olan direncinin bir ölçüsüdür. Yüksek iyonlaşma enerjisi, çekirdek ve elektron arasında güçlü bir çekimi gösterir. Elektron ilgisi, atomun elektron kazanma eğili-

minin ölçüsüdür. Çok pozitif bir elektron ilgisi, atomun elektron kazanmaya karşı olan eğiliminin çok yüksek olduğunu gösterir. Metaller, genellikle düşük iyonlaşma enerjilerine sahipken, ametallerin elektron ilgileri yüksektir.

6. Soy gazlar, en son kabuklarındaki *ns* ve *np* alt kabukları tam dolu olduğundan, çok kararlıdır. Baş grup elementlerindeki metaller (1A, 2A ve 3A gruplarındaki elementler) katyonları soy gazlarla izoelektronik oluncaya kadar, elektron kaybetme eğilimindedirler. 5A, 6A ve 7A gruplarındaki ametal anyonları soy gazlarla izoelektronik oluncaya kadar elektron alma eğilimindedirler.

Anahtar Kelimeler

Amfoter oksit, s. 359

Atom yarıçapı, s. 337

Baş grup elementleri, s. 332

Çapraz bağıntı, s. 350

Değerlik elektronları, s. 332

Elektron ilgisi (EA), s. 347

Etkin çekirdek yükü (Zet), s.336

İç elektronlar, s.332

İyon yarıçapı, s.339

İyonlaşma enerjisi(IE), s.342

İzoelektronik, s. 335

Sorular ve Problemler

Periyodik Çizelgenin Gelişimi

Tarama Soruları

- 8.1 Mendelyev'in, periyodik çizelgesinin önemini anlatınız.
- 8.2 Moseley'in modern periyodik çizelgeye katkısı nedir?
- 8.3 Modern periyodik çizelgenin, genel düzenlenişini tanımlayınız.
- 8.4 Periyodik çizelgede, aynı grup elementleri arasında var olan en önemli ilişki nedir?

Elementlerin Periyodik Sınıflandırılması

Tarama Soruları

- 8.5 Şu elementlerin hangileri metal, hangileri ametal, hangileri metalimsidir? As, Xe, Fe, Li, B, Cl, Ba, P, I, Si.
- 8.6 Metallerin ve ametallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini karşılaştırınız.
- 8.7 Periyodik çizelgenin basit bir görüntüştür, ayrıntıya girmeden çiziniz. Metallerin, ametallerin ve yarı metallerin yerlerini gösteriniz.
- 8.8 Baş grup elementi nedir? Dört baş grup elementinin adını ve simgesini yazınız.
- 8.9 Periyodik çizelgeye bakmaksızın: 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A, 8A grupları ve geçiş metallerin-

den bir elementin adını ve simgesini yazınız.

- 8.10 Fosfor, iyot, magnezyum, neon, arsenik, karbon, selenyum ve oksijenin molekül formüllerini yazınız. 25°C ve 1 atm'de (en kararlı durumlarında) atom halde mi, moleküler halde mi yoksa kristal halinde mi bulunduklarını söyleyiniz.
- 8.11 Size parlak siyah bir katı verildi ve bunun iyot mu yoksa metal bir element mi olduğunu belirlemeniz istendi. Doğru cevaba ulaşmanızı sağlayacak, bu maddeleri kimyasal bozunmaya uğratmadan yapılabilecek bir deney öneriniz.
- 8.12 Değerlik elektronunu tanımlayınız. Baş grup elementlerinde elementin değerlik elektronu sayısı grup numarasına eşittir. Bu bilginin Al, Sr, K, Br, P, S ve C elementleri için de doğru olup olmadığını gösteriniz.
- 8.13 Alkali metaller, toprak alkali metaller, halojenler ve soy gazlar için dış kabuk elektron dağılımlarını yazınız.
- 8.14 Geçiş metallerinin elektron dağılımlarının özelliklerini, birinci geçiş metalleri periyodunu (Sc-Cu) kullanarak gösteriniz.
- 8.15 Baş grup elementlerinden oluşan iyonların elektronik dağılımları, genel bir bağıntıyı takip eder. Bu bağıntı nedir, ve bu iyonların kararlılığı ile ilişkili midir?

- 8.16 İki iyon veya bir atom ve bir iyon izoelektroniktir dediğimiz zaman neyi kastederiz?
- 8.17 “X elementinin atomları ile Y elementinin atomları izoelektroniktir” ifadesindeki hata nedir? Belirtiniz.
- 8.18 İlk seri geçiş metali (Sc-Cu) iyonlarına üç örnek veriniz. Bunun için argon çekirdeğinden yararlanınız.

Problemler

- 8.19 Hidrojen periyodik çizelgede, bu kitapta da olduğu gibi, bazen alkali metallerle bazen halojenlerle birlikte gösterilir. Hidrojenin, neden bazen 1A grubunda bazen, 7A grubunda gösterildiğini açıklayınız.
- 8.20** Bir elementin nötr atomunun 17 elektronu vardır. Periyodik çizelgeye bakmaksızın: (a) Elementin temel halindeki elektron dağılımını yazınız. (b) Elementi sınıflandırınız, yani grubunu belirleyiniz. (c) Bu elementin atomunun diyamanyetik mi yoksa paramanyetik mi olduğunu belirleyiniz.
- 8.21 Aşağıdaki elektron dağılımlarını inceleyiniz ve hangi atomların benzer kimyasal özellikler göstereceğini belirtiniz:
- (a) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
 (b) $1s^2 2s^2 2p^3$
 (c) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$
 (d) $1s^2 2s^2$
 (e) $1s^2 2s^2 2p^6$
 (f) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
- 8.22** Aşağıdaki elektron dağılımlarını inceleyiniz ve hangi atomların benzer kimyasal özellikler göstereceğini belirtiniz:
- (a) $1s^2 2s^2 2p^5$
 (b) $1s^2 2s^1$
 (c) $1s^2 2s^2 2p^6$
 (d) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
 (e) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
 (f) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$
- 8.23 Aşağıda verilen atom numaralarına sahip element atomlarının elektron dağılımlarını periyodik çizelgeye bakmadan yazınız. periyot ve gruplarını belirleyiniz. (a) 9 (b) 20 (c) 26 (d) 33
- 8.24** Aşağıda verilen elementlerin, periyodik çizelgedeki yerini, grup ve periyodunu belirleyiniz. (a) $[\text{Ne}]3s^1$, (b) $[\text{Ne}]3s^2 3p^3$, (c) $[\text{Ne}]3s^2 3p^6$, (d) $[\text{Ar}]4s^2 3d^8$.
- 8.25 M^{2+} iyonu ilk geçiş metali serisindeki bir metalden türetilmiştir. $3d$ alt kabuğunda sadece 4 elektronu vardır. M elementi ne olabilir?
- 8.26** Bir metal iyonu $+3$ yüklüdür. Metalin $3d$ alt kabuğunda beş elektronu vardır. Bu metali teşhis ediniz.
- 8.27 Aşağıdaki iyonların temel hal elektron dağılımlarını yazınız. (a) Li^+ , (b) H^- , (c) N^{3-} , (d) F^- , (e) S^{2-} , (f) Al^{3+} , (g) Se^{2-} , (h) Br^- , (i) Rb^- , (j) Sr^{2-} ,

(k) Sn^{2-} , (l) Te^{2-} , (m) Ba^{2+} , (n) Pb^{2-} , (o) In^{3-} , (p) Tl^+ , (q) Tl^{3+} .

- 8.28** Aşağıda verilen iyonlar vücudumuzda gerçekleşen biyokimyasal işlemlerde önemli rollere sahiptirler. Bu iyonların temel hallerindeki elektron dağılımlarını yazınız. (a) Na^+ , (b) Mg^{2+} , (c) Cl^- , (d) K^+ , (e) Ca^{2+} , (f) Fe^{2+} , (g) Cu^{2+} , (h) Zn^{2+} .
- 8.29 Aşağıdaki geçiş metallerinin iyonlarının temel hal elektron dağılımlarını yazınız: (a) Sc^{3+} , (b) Ti^{4+} , (c) V^{5+} , (d) Cr^{3+} , (e) Mn^{2+} , (f) Fe^{2+} , (g) Fe^{3+} , (h) Co^{2+} , (i) Ni^{2+} , (j) Cu^+ , (k) Cu^{2+} , (l) Ag^+ , (m) Au^+ , (n) Au^{3+} , (o) Pt^{2+} .
- 8.30** Aşağıdaki elektron dağılımlarına sahip $+3$ yüklü iyonların adlarını yazınız. (a) $[\text{Ar}]3d^3$, (b) $[\text{Ar}]$, (c) $[\text{Kr}]4d^6$, (d) $[\text{Xe}]4f^{14} 5d^6$.
- 8.31 Aşağıda verilen atom ve iyonlardan hangileri birbirleri ile izoelektroniktir? C, Cl^- , Mn^{2+} , B^- , Ar, Zn, Fe^{3+} , Ge^{2-} .
- 8.32** Aşağıda verilen atom ve iyonlardan hangileri birbirleri ile izoelektroniktir? Be^{2+} , F^- , Fe^{2+} , N^{3-} , He, S^{2-} , Co^{3+} , Ar.

Fiziksel Özelliklerdeki Periyodik Değişimler

Tarama Soruları

- 8.33 Atom yarıçapını tanımlayınız. Bir atomun hacmi tam olarak belirlenebilir mi? Açıklayınız.
- 8.34 Atom yarıçapı şu durumlarda nasıl değişir? (a) Periyot boyunca soldan sağa doğru giderken. (b) Grup içinde yukarıdan aşağıya doğru inerken.
- 8.35 İyon yarıçapını tanımlayınız. Bir atom (a) anyona (b) katyona dönüştüğünde hacmi nasıl değişir? Açıklayınız.
- 8.36 İzoelektronik iyonlarda, anyonlar niçin katyonlardan daha büyüktür? Açıklayınız.

Problemler

- 8.37 Aşağıda verilen element çiftlerinden hangilerinin atom yarıçapının daha büyük olduğunu periyodik çizelgedeki yerlerini düşünerek, belirleyiniz. (a) Na, Cs; (b) Be, Ba; (c) N, Sb; (d) F, Br; (e) Ne, Xe.
- 8.38** Verilen şu atomları, azalan atom yarıçapına göre sıralayınız: Na, Al, P, Cl, Mg.
- 8.39 4A grubundaki atomların en büyüğü hangisidir?
- 8.40** 7A grubundaki atomların en küçüğü hangisidir?
- 8.41 Lityum atomunun yarıçapı, niçin hidrojen atomunun yarıçapından önemli derecede büyüktür?
- 8.42** Atom hacimlerinin bir periyotta soldan sağa doğru azaldığını periyodik çizelgenin ikinci periyodundaki elementleri kullanarak, gösteriniz.
- 8.43 Aşağıdaki çiftlerin her birinde iki türden hangisinin hacminin daha küçük olduğunu belirleyiniz. (a) Cl ve Cl^- ; (b) Na ve Na^+ ; (c) O^{2-} ve S^{2-} ; (d) Mg^{2+} ve Al^{3+} ; (e) Au^- ve Au^{3+} .

- 8.44** Şu iyonları, artan iyon hacimlerine göre sıralayınız: N^{3-} , Na^+ , F^- , Mg^{2+} , O^{2-} .
- 8.45 Şu iyonlardan hangisi daha büyüktür, neden? Açıklayınız: Cu^- or Cu^{2+} .
- 8.46** Şu iyonlardan hangisi daha büyüktür neden? Açıklayınız: Se^{2-} or Te^{2-} .
- 8.47 Aşağıda verilen dördüncü periyot baş grup elementlerinin, 1 atm ve $25^\circ C$ 'deki fiziksel hallerini (katı, sıvı veya gaz) belirleyiniz. (K, Ca, Ga, Ge, As, Se, Br)
- 8.48** H^- ve He her ikisi de iki tane $1s$ elektronuna sahiptirler. Hangisi daha büyük boyutludur? tercihinizin sebebini açıklayınız.

İyonlaşma Enerjisi

Tarama Soruları

- 8.49 İyonlaşma enerjisini tanımlayınız. İyonlaşma enerjisinin niçin genellikle gaz halinde iken ölçüldüğünü açıklayınız. Her hangi bir element için niçin ikinci iyonlaşma enerjisi daima birinci iyonlaşma enerjisinden daha büyüktür? Nedenini açıklayınız.
- 8.50 Periyodik çizelgeyi basitçe çizin ve elementlerin birinci iyonlaşma enerjilerinde gözlenen periyodik eğilimleri gösteriniz. Elementlerin hangi türleri yüksek, hangi türleri düşük iyonlaşma enerjilerine sahiptir? Açıklayınız.

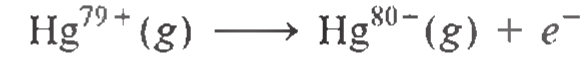
Problemler

- 8.51 Verilen şu atomları birinci iyonlaşma enerjilerinin artışına göre sıralayınız: Na, Cl, Al, S ve Cs.
- 8.52** Verilen şu atomları birinci iyonlaşma enerjilerinin artışına göre sıralayınız: F, K, P, Ca, ve Ne.
- 8.53 Birinci iyonlaşma enerjilerinin periyot içinde, soldan sağa doğru gidildiğinde nasıl değiştiğini periyodik çizelgenin üçüncü periyodundaki elementleri kullanarak gösteriniz. Eğilimi açıklayınız.
- 8.54** İyonlaşma enerjisi periyot içerisinde genellikle soldan sağa doğru artar. Fakat alüminyumun iyonlaşma enerjisi magnezyumdan daha düşüktür. Bu olgunun sebebi ne olabilir? Açıklayınız.
- 8.55 Potasyum ve kalsiyumun birinci ve ikinci iyonlaşma enerjileri şöyledir: 419 kJ/mol ve 3052 kJ/mol, ve 590 kJ/mol ve 1145 kJ/mol. Bu değerleri karşılaştırmız ve farklılıkları yorumlayınız.
- 8.56** İki atomun elektron dağılımları $1s^2 2s^2 2p^6$ ve $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ şeklindedir. Bu atomlardan birisinin birinci iyonlaşma enerjisi, 2080 kJ/mol ve diğerinin 496 kJ/mol'dür. Bu iyonlaşma enerjilerini, yukarıda verilen elektron dağılımları ile eşleştiriniz. Hangi enerji hangi dağılıma aittir, belirleyiniz. Seçiminizi doğrulayınız.
- 8.57 Hidrojene benzeyen bir iyon, sadece bir tane elektron içermektedir. Bu iyondaki elektronun enerjisi aşağıdaki eşitlikle verilmektedir:

$$E_n = -(2,18 \times 10^{-18} \text{ J}) Z^2 \left(\frac{1}{n^2} \right)$$

Burada n baş kuantum sayısını, Z ise atom numarasını göstermektedir. He^+ iyonunun iyonlaşma enerjisini kJ/mol olarak hesaplayınız.

- 8.58** Plazma, pozitif yüklü gaz iyonlarla elektronları içeren, maddenin bir halidir. Plazma halinde cıva atomu adeta elektronlarından sıyrılır ve Hg^{80+} ya dönüşebilir. Problem 8.57'deki denklemi kullanarak iyonlaşmanın son basamağı için:



gerekli olan enerjiyi hesaplayınız.

Elektron İlgisi

Tarama Soruları

- 8.59 (a) Elektron ilgisini tanımlayınız. (b) Elektron ilgisinin, niçin daima gaz halindeki atomlarda ölçüldüğünü belirtiniz. (c) İyonlaşma enerjisinin değeri daima pozitif iken, elektron ilgisinin değeri hem pozitif, hem de negatif olabilir, nedenini açıklayınız.
- 8.60 Elektron ilgisinin alüminyumdan kloro doğru nasıl değiştiğini açıklayınız (bakınız Çizelge 8.3).

Problemler

- 8.61 Aşağıda, her bir şıkta verilen elementleri, en pozitif elektron ilgisine doğru artış şeklinde sıralayınız. (a) Li, Na, K; (b) F, Cl, Br, I; (c) O, Si, P, Ca, Ba.
- 8.62** Şu elementlerden hangisinin elektron ilgisinin en büyük olmasını beklersiniz? He, K, Co, S, Cl.
- 8.63 Alkali metallerin elektron ilgisi değerlerini düşününüz. Bu elementlerden M şeklinde bir iyon oluşması mümkün müdür? Açıklayınız. Burada M bir alkali metali göstermektedir.
- 8.64** Alkali metallerin elektronlara karşı olan ilgisi toprak alkali metallerden daha büyüktür. Bunun nedenini açıklayınız.

Baş Grup Elementlerinin Kimyasal

Özelliklerindeki Değişim

Tarama Soruları

- 8.65 Çapraz bağıntı ne anlama gelmektedir? Açıklayınız. Bu ilişkiye sahip olan elementlerden iki çifti yazınız.
- 8.66 Hangi elementler asit oksit, hangileri baz oksit, hangileri amfoter oksitler oluştururlar? Yazınız.

Problemler

- 8.67 Alkali metaller ve toprak alkali metallerin elektron dağılımlarından faydalanarak, kimyasal özelliklerinin nasıl tahmin edileceğini gösteriniz.
- 8.68** Alkali metal kimyası hakkındaki bilgilerinize dayanarak, grubun son üyesi olan fransiyumun bazı özelliklerini tahmin ediniz.

- 8.69 Grup olarak, soy gazlar kimyasal açıdan çok kararlıdır(sadece Kr ve Xe'un birkaç bileşiği vardır). Perdeleme etkisi ve etkin çekirdek yükü kavramlarını kullanarak, soy gazların neden elektron almadıklarını veya vermediklerini açıklayınız.
- 8.70** 1A grubu elementleri ve 1B grubu elementleri aynı dış kabuk (ns^1 , burada n en dış kabuktaki baş kuantum sayısıdır) elektron dağılımına sahip götükseler bile, 1B grubu elementleri 1A grubundan daha kararlıdır. Bunun nedenini açıklayınız.
- 8.71 Bir periyotta soldan sağa, bir grupta yukarıdan aşağıya doğru giderken oksitlerin kimyasal özellikleri nasıl değişir?
- 8.72** Aşağıdaki oksitlerin suyla verecekleri tepkimeyi yazınız ve denkleştiriniz. (a) Li_2O , (b) CaO , (c) SO_3 .
- 8.73 İkinci periyot elementlerinin (Li'dan F) hidrojenle yaptıkları ikili bileşiklerin formüllerini yazıp adlandırınız. Bir periyot boyunca, soldan sağa doğru gittiğimizde, bu bileşiklerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinde meydana gelecek değişimleri yazınız.
- 8.74** Hangi oksit daha baziktir, niçin? MgO , BaO .

Ek Problemler

- 8.75 Baş grup elementleri için: metalik karakter, atom hacmi, iyonlaşma enerjisi ve oksitlerin asitliğini; (a) periyotta soldan sağa, (b) grupta yukarıdan aşağıya nasıl değiştiğini belirtiniz.
- 8.76** Periyodik çizelgeye bakarak: (a) dördüncü periyottaki halojen elementinin adını, (b) fosforun kimyasal özelliklerine benzer kimyasal özellikleri olan elementin adını, (c) beşinci periyottaki en etkin metalin adını, (d) atom numarası 20'den küçük olan ve stronsiyuma benzer özellikleri olan elementin adını yazınız.
- 8.77 Aşağıdaki işlemleri temsil eden eşitlikleri yazınız:
 (a) S'nin elektron ilgisi.
 (b) Titanyumun üçüncü iyonlaşma enerjisi.
 (c) Mg^{2+} 'nin elektron ilgisi.
 (d) O^{2-} 'nin iyonlaşma enerjisi.
- 8.78** Ar atomu ile izoelektronik olan yaygın baş grup elementleri iyonlarını ve geçiş metali iyonlarını sıralayınız.
- 8.79 Üçüncü periyottaki elementlerin (Na'dan Cl'a) (a) oksijen molekülü ile, (b) klor molekülü ile yaptığı bileşiklerin molekül formüllerini yazınız. Her bileşiğin iyonik mi, yoksa moleküler mi, olduğunu tahmin ediniz.
- 8.80** M elementi parlak ve çok etkin bir metal (erime noktası $63^\circ C$), X elementi de çok etkin bir ametaldir (erime noktası $-7,2^\circ C$). Bu elementler tepkimeye girerek molekül formülü MX, erime noktası $734^\circ C$ olan renksiz ve kırılgan bir bileşik oluşturuyorlar. Bu

bileşik suda çözüldüğünde ya da sıvılaştırıldığında elektriği iletiyor. MX içeren sulu çözeltiden klor gazı geçirildiğinde ortamın rengi kırmızı-kahverengiye dönüyor ve Cl^- iyonları oluşuyor. Bu gözlemlere göre M ve X elementlerini belirleyiniz. Erime noktası değerleri için bir kimya el kitabından faydalana-bilirsiniz.

- 8.81 Sağdaki elementlerin her birini soldaki tanım ile eşleştiriniz.
- | | |
|--|--------------------|
| (a) Koyu kırmızı sıvı | Kalsiyum (Ca) |
| (b) Oksijende yanan renksiz bir gaz | Altın (Au) |
| (c) Suyla tepkimeye giren etkin bir metal | Hidrojen (H_2) |
| (d) Kuyumculukta kullanılan parlak bir metal | Argon (Ar) |
| (e) Bir soy gaz | Brom (Br_2) |
- 8.82** Aşağıda verilen atom ve iyonlardan izoelektronik olanları birbirleri ile eşleyiniz: O^+ , Ar, S^{2-} , Ne, Zn, Cs^+ , N^{3-} , As^{3+} , N, Xe.
- 8.83 Aşağıda her şıkta verilen türleri, azalan yarıçaplarına göre sıralayınız. (a) Be, Mg, Ba, (b) N^{3-} , O^{2-} , F^- , (c) Tl^{3+} , Tl^{2+} , Tl^+ .
- 8.84** Şu özelliklerden hangisi belirgin bir periyodik değişim gösterir: (a) birinci iyonlaşma enerjisi, (b) elementlerin mol kütleleri, (c) bir elementin izotoplarının sayısı, (d) atom yarıçapı.
- 8.85 Berrak bir kalsiyum hidroksit çözeltisinden karbon dioksit gazı geçirildiğinde çözelti bulanıklaşır, süt gibi olur. Tepkimenin denklemini yazınız ve açıklayınız. Bu tepkimeye göre, CO_2 bir asit oksit midir? Açıklayınız.
- 8.86** Size dört tane madde verildiğini düşünün. Dumanlı kırmızı bir sıvı, koyu renkli metal görüntümlü bir katı, açık sarı renkli bir gaz ve sarı yeşil renkli ve cam ile tepkimeye giren bir gaz. Size bu maddelerin 7A grubunun, yani halojenlerin ilk dört üyesi olduğu söylendi. Her birinin adlarını yazınız.
- 8.87 Aşağıdaki işlemler için enerji değişimlerini hesaplayınız:
 (a) $Na(g) + Cl(g) \longrightarrow Na^+(g) + Cl^-(g)$
 (b) $Ca(g) + 2Br(g) \longrightarrow Ca^{2+}(g) + 2Br^-(g)$
- 8.88** Aşağıdaki işlemler için enerji değişimlerini hesaplayınız:
 (a) $Mg(g) + 2F(g) \longrightarrow Mg^{2+}(g) + 2F^-(g)$
 (b) $2Al(g) + 3O(g) \longrightarrow 2Al^{3+}(g) + 3O^{2-}(g)$
 O^- nin elektron ilgisi: -844 kJ/mol .
- 8.89 Aşağıda verilen element çiftlerinin kimyasal benzerliklerinin üçer tanesini yazınız. (a) Sodyum ve potasyum (b) Klor ve brom
- 8.90** Uygun koşullarda, periyodik çizelgedeki tüm elementlerle (He, Ne ve Ar hariç) bileşik yapabilecek elementin adını yazınız.

- 8.91 Küktürdün birinci elektron ilgisi 200 kJ/mol iken ikinci elektron ilgisinin neden - 649 kJ/mol olduğunu açıklayınız.
- 8.92** H⁺ iyonu ve He atomunun, her ikisi de, iki adet 1s elektronuna sahiptir. Bunlardan hangisinin hacmi daha büyüktür? Açıklayınız.
- 8.93 Verilen şu oksitlerin suyla tepkimesini tahmin ediniz. Na₂O, BaO, CO₂, N₂O₅, P₄O₁₀, SO₃. Her bir tepkimenin denklemini yazınız. Bu oksitlerin asidik mi, bazik mi yoksa amfoterik mi olduğunu belirleyiniz.
- 8.94** İkinci periyot elementlerinin (Li'dan N'a) oksitlerinin isimlerini ve formüllerini yazınız. Oksitlerin asidik mi, bazik mi yoksa amfoterik mi olduğunu belirtiniz.
- 8.95 Aşağıda verilen elementlerin uygun atmosfer koşullarında gaz, sıvı veya katı olup olmadıklarını ve elementel yapılarının atom, molekül veya kristal yapı olup olmadığını belirtiniz. Mg, Cl, Si, Kr, O, I, Hg, Br.
- 8.96** Hidrojenin, benzersiz özelliğinin nedeni nedir?
- 8.97 Bir insanlı uzay aracı veya deniz altındaki solunan hava karbondioksitten arındırılmalıdır. Karbondioksit ile (a) lityum oksit (Li₂O) arasındaki tepkimeyi, (b) sodyum peroksit (Na₂O₂) arasındaki tepkimeyi, (c) potasyum süperoksit (K₂O) arasındaki tepkimeyi yazınız.
- 8.98** Hidrojen benzeri bir iyondaki bir elektronun enerjisini hesaplamak için gerekli olan formül, Problem 8.57'de verilmişti. Bu denklem çok elektronlu atomlara uygulanamaz. Denklemi daha büyük atomlarda kullanabilmek için değiştirmek gerekir. Karmaşık atomlar için değiştirmenin yollarından biri, Z'yi (Z - σ) ile değiştirmektir. Burada Z atom numarası, σ ise perdeleme sabitidir (boyutsuz pozitif bir sayı). Örnek olarak, He atomunu göz önüne alalım. σ'nin buradaki fiziksel önemi, iki adet 1s elektronunun birbirini üzerine uyguladığı perdeleme etkisini yansıtmasıdır. Buna göre, (Z - σ) değeri yaklaşık bir ifade ile "etkin çekirdek yükü" olarak da isimlendirilir. Helyumun birinci iyonlaşma enerjisi 3.94 × 10¹⁸ J/atom ise σ'nin değerini hesaplayınız. (Hesaplamalarınızda yukarıda verilen eşitlikteki "-" işaretini önemsemeyiniz.)
- 8.99 Neden soy gazlar negatif elektron ilgisi değerlerine sahiptirler?
- 8.100** K atomunun atom yarıçapı 227 pm ve K⁺ iyonunununki ise 133 pm'dir. K(g) atomu K⁺(g) iyonuna dönüştürken hacimdeki yüzde azalmayı hesaplayınız. [Bir kürenin hacmi $(\frac{4}{3})\pi r^3$ tür ve burada r kürenin yarıçapıdır.]
- 8.101 F atomunun atom yarıçapı 72 pm ve F⁻ iyonunununki ise 133 pm'dir. F(g) atomu F⁻(g) iyonuna dönüştürken hacimdeki yüzde artmayı hesaplayınız. (Kürenin hacmi için Problem 8.100'e bakınız)
- 8.102** Atomların iyonlaşma enerjilerini hesaplamada kullanılan teknik, fotoelektron spektroskopisi olarak bilinir. Bu işlemde, incelenen bir numune morötesi ışık (UV) kaynağının etkisine maruz bırakıldığında,

elektronlar değerlik kabuğundan fırlatılırlar. Fırlatılan elektronların kinetik enerjileri ölçülür. UV fotonunun ve fırlatılan elektronun enerjileri bilindiğinden, şu denklemi yazabiliriz:

$$h\nu = IE + \frac{1}{2}mv^2$$

Burada ν UV ışığının frekansını, m elektronun kütlesini, v elektronun hızını ve IE iyonlaşma enerjisini göstermektedir. 162 nm'lik dalga boyuna sahip bir UV kaynağı kullanılarak yapılan bir deneyde, potasyumdan kopan elektronun enerjisi 5.34 × 10⁻¹⁹ J/atom olarak ölçülmüştür. Potasyumun iyonlaşma enerjisini hesaplayınız. Bu enerjinin, değerlik kabuğundaki elektrona karşılık gelen enerji olup olmadığından nasıl emin olabilirsiniz? (yani, en zayıf bağlanan elektron olduğundan).

- 8.103 Sayfa 360'daki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasına başvurarak, şu sorulara cevap veriniz: (a) Dünyadaki ilk soy gazın(argon) keşfi neden bu kadar uzun zaman aldı? (b) Argon keşfedildikten sonra, neden geri kalan diğer soy gazların keşifleri kısa zaman içerisinde gerçekleşti? (c) Helyum neden sıvı havanın ayrımsal damıtılmasıyla ayrılamadı?
- 8.104** Aşağıdaki işlem için gerekli olan enerji 1.96 × 10⁴ kJ/mol'dür.

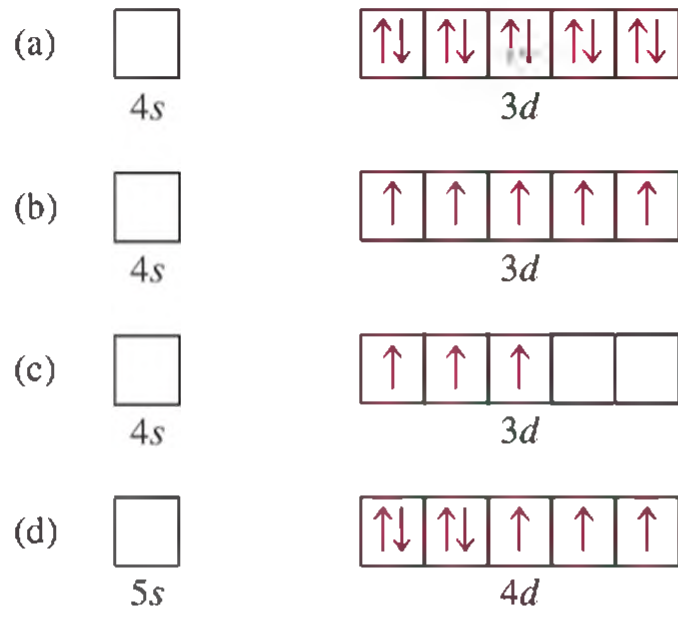


Lityumun birinci iyonlaşma enerjisi 520 kJ/mol ise, ikinci iyonlaşma enerjisini, yani aşağıdaki işlem için gerekli olan enerjiyi hesaplayınız:



(İpucu: Problem 8.57'deki eşitlik gereklidir)

- 8.105 Bir X elementi hidrojen gazı ile 200°C'de tepkimeye girerek Y bileşiğini oluşturmaktadır. Y çok yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında, X elementine ve H₂ gazına bozunmakta ve 1.00 g X başına 559 mL H₂ gazı (STP'de) oluşmaktadır. X, klorla birleşip bir Z bileşiğini de oluşturabilmekte ve bu bileşik kütlece %63.8 klor içermektedir. X'in ne olduğunu belirleyiniz?
- 8.106** Bir öğrenciye üç tane element X, Y ve Z veriliyor. Bu elementlerden biri alkali metal, biri 4A grubu elementi diğeri de 5A grubu elementidir. Öğrenci aşağıdaki gözlemleri yapıyor: X elementi metal parlaklığına sahiptir ve elektriği iletmemektedir. Hidroklorik asitle yavaşça tepkimeye girerek, hidrojen gazı üretmektedir. Y elementi, parlak sarı renkli bir katıdır ve elektriği iletmemektedir. Z elementi ise metal parlaklığına sahiptir ve elektriği iletmemektedir. Havada bırakıldığında, yavaşça beyaz bir toza dönüşmektedir. Bu beyaz tozun sudaki çözeltisi baziktir. Bu gözlemlere dayanarak, bu elementler hakkında hangi sonuca varabilirsiniz?
- 8.107 Değerlik elektronlarının orbital dizilişi aşağıda, (s.367'de) verilen iyonları belirleyiniz. İyonların yükleri şöyledir: (a) 1+, (b) 3+, (c) 4+, (d) 2+



8.108 Na⁺ iyonunun elektron ilgisi nedir?

8.109 Sodyumun iyonlaşma enerjileri IE_1 'den IE_{11} 'e kadar kJ/mol olarak şöyledir; 495,9, 4560, 6900, 9540, 13400, 16600, 20120, 25490, 28930, 141360, 170000. İyonlaşma enerjisinin logaritmasını y eksenine iyonlaşma numarasına da x eksenine koyarak bir grafik çizin. Örneğin, $\log 495,9$ değerini 1'e karşı (eksenine birinci iyonlaşma enerjisi, IE_1 olarak yazınız), $\log 4560$ değerini 2'ye karşı (eksenine ikinci iyonlaşma enerjisi, IE_2 olarak yazınız) diye devam ederek çizin. (a) 1s, 2s, 2p ve 3s orbitallerindeki elektronları IE_1 'den IE_{11} 'e kadar işaretleyiniz, (b) grafik çizgisindeki kırılmalarla faydalanarak elektron kabukları hakkında ne söyleyebilirsiniz.

8.110 Deneysel olarak bir elementin elektron ilgisi, elementin gaz halindeki iyonlaşmış anyonuna lazer ışığı gönderilerek tayin edilir.



Çizelge 8.3'ten yararlanarak, klorun elektron ilgisine karşılık gelen fotonun dalga boyunu nanometre olarak belirleyiniz. Bu dalga boyu, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesine düşmektedir? Belirleyiniz.

8.111 Elektron dizilimlerine göre, neden Fe^{2+} iyonunun Fe^{3+} iyonuna yükseltgenmesinin Mn^{2+} iyonunun Mn^{3+} iyonuna yükseltgenmesinden daha kolay olduğunu açıklayınız?

8.112 Bir elementin standart atomlaşma entalpisi, 25°C'deki bir mol kararlı elementi bir mol tek atomlu gaza dönüştürmek için gerekli olan enerjidir. Sodyumun standart atomlaşma enerjisi 108,4 kJ/mol olarak verildiğine göre, 25°C'deki bir mol sodyumu, gaz halindeki bir mol Na⁺ iyonuna çevirmek için gerekli enerjiyi (kJ/mol) hesaplayınız.

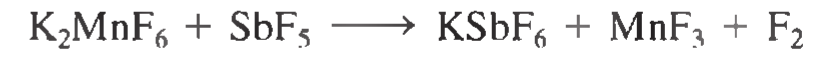
8.113 Verilen şu ikinci periyot elementlerinin hidrürlerinin isimlerini ve formüllerini yazınız. Li, C, N, O, F. Su ile olan tepkimelerini tahmin ediniz.

8.114 Titan'ın elektron dizilişi bilgisine dayanarak, aşağıdaki titan bileşiklerinden hangisinin var olması pek mümkün değildir: K_3TiF_6 , $K_2Ti_2O_5$, $TiCl_3$, K_2TiO_4 , K_2TiF_6 .

8.115 Aşağıdaki maddelerin her birisinin önemli bir bileşeni olan 1A veya 2A grubundaki elementin adını veriniz:

(a) sindirim sorunlarında kullanılan antiasit, (b) nükleer reaktörler için soğutucu, (c) İngiliz tuzu, (d) kabartma tozu, (e) patlayıcı, (f) parlak bir alaşım, (g) asit yağmurlarını nötrleştiren bir gübre, (h) çimento (i) buzlu yollar için buz önleyici. Bazı maddeler hakkında öğretim üyesine sormanız gerekebilir.

8.116 Halojen yer değiştirme tepkimesinde, bir halojen elementi, o halojenin anyonunu periyodik çizelgede hemen onun üzerinde yer alan element ile yükseltgeyerek elde edilebilir. Bu da, elementel florun bu şekilde edilemeyeceği anlamına gelir, çünkü flor Grup 7A'nın ilk elementidir. Gerçekten de yıllarca elementel florun elde etmenin tek yolu F⁻ iyonunun elektrolitik olarak flora yükseltgenmesiyle olmuştur. Daha sonra 1986'da, bir kimyacı potasyum hekzaflormanganat(IV) (K_2MnF_6) ile antimon pentaflorür'ün (SbF_5) 150 °C'de tepkimesiyle elementel florun elde ettiğini duyurdu. Bu tepkimeyi gösteren aşağıdaki eşitliği denkleştiriniz:



8.117 Aşağıda verilenleri elde etmek için, denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız: (a) Oksijen molekülü, (b) amonyak, (c) karbondioksit, (d) hidrojen molekülü, (e) kalsiyum oksit. Her bir eşitlikte tepken ve ürünlerin fiziksel hallerini de belirtiniz.

8.118 Aşağıdaki yükseltgenme basamaklarına sahip olan azot oksitlerin kimyasal formüllerini yazınız: +1, +2, +3, +4, +5. (İpucu: +4 yükseltgenme basamağına sahip olan iki azot oksit vardır)

8.119 Geçiş metallerinin çoğu renklidir. Örneğin $CuSO_4$ çözeltisi mavidir. Mavi rengin SO_4^{2-} dan değil, hidratize Cu^{2+} dan dolayı olduğunu nasıl gösterebilirsiniz?

8.120 Genel olarak, atom yarıçapı ve iyonlaşma enerjisi birbirinin tersi bir periyodik eğilim gösterirler, neden?

8.121 Karbon ve oksijenin elektron ilgileri oldukça pozitif iken, azotun elektron ilgisinin neden yaklaşık sıfır olduğunu açıklayınız.

8.122 Klor, brom ve iyot halojenlerini ele alınız. İyodun erime ve kaynama noktası sırasıyla 113,5°C ve 184,4°C iken, klorun erime ve kaynama noktası sırasıyla -101,0 °C ve -34,6 °C'dir. Buna göre oda koşullarında klor gaz ve iyot katıdır. Bromun erime ve kaynama noktasını tahmin ediniz. Sonuçlarınızı Kimya Elkitabı ile karşılaştırınız.

8.123 Rubidyum (Rb) ile (a) $H_2O(s)$ (b) $Cl_2(g)$ (c) $H_2(g)$ arasında olabilecek tepkimeleri, denkleştirilmiş olarak yazınız.

8.124 Bir baş grup elementinin peş peşe ilk dört iyonlaşma enerjisi (IE) sırasıyla: 738,1 kJ/mol, 1450 kJ/mol, 7730 kJ/mol ve 10500 kJ/mol'dür. Bu element hangi grubun üyesidir? Niçin?

8.125 7A grubunun en son elementi olan astatin'in (At) kimyası hakkında çok az şey bilinir. Bu halojenin sahip olmasını beklediğiniz fiziksel özellikleri açıklayınız.

Sodyum astatit(NaAt) ve sülfürik asit arasındaki tepkimeden oluşabilecek ürünleri tahmin ediniz. (İpucu: Sülfürik asit yükseltgen bir reaktiftir.)

- 8.126** Bölüm içerisinde tartışıldığı gibi, argonun atom kütlesi potasyumdan daha büyüktür. Bu gözlem ilk periyodik çizelgenin oluşumunda problemi yarattı. çünkü bu durum argonun potasyumdan sonra gelmesi demekti. (a) Bu güçlük nasıl çözüldü? (b) aşağıdaki verilerden argon ve potasyumun ortalama atom kütlelerini hesaplayınız: Ar-36 (35,9675 akb; %0,337), Ar-38 (37,9627 akb; %0,063), Ar-40(39,9624 akb; %99,60); K-39 (38,9637 akb; %93,258), K-40 (39,9640 akb; %0,00117), K-41 (40,9618 akb; %6,730)
- 8.127 Tek bir sodyum atomunu iyonlaştırmak için gerekli olan ışığın dalga boyunu(nı olarak) hesaplayınız.
- 8.128** Fransiyumdan sonra gelebilecek olan bir sonraki alkali metalin atom numarasını ve temel hal elektron dağılımını tahmin ediniz.
- 8.129 Neden yüksek iyonlaşma enerjisine sahip olan elementler, aynı zamanda daha çok pozitif elektron ilgisine sahiptirler? Hangi grup elementler bu genellenimin dışında istisna gösterirler?
- 8.130** Bir elementin ilk dört iyonlaşma enerjileri yaklaşık olarak 579 kJ/mol, 1980 kJ/mol, 2963 kJ/mol ve 6180 kJ/mol'dür. Bu element hangi periyodik gruba aittir?
- 8.131 Bazı kimyacılar helyumun "helon" olarak adlandırılması gerektiğini düşünürler, neden? Helyum'daki "yum" neyi ileri sürer?
- 8.132** (a) En basit hidrokarbonun formülü CH_4 'dür(metan). Hidrojen ve aşağıdaki elementler arasında oluşabilecek bileşiklerin basit formüllerini tahmin ediniz: silisyum, germanyum, kalay ve kurşun.(b) Sodyum hidrür(NaH) iyonik bir bileşiktir. Rubidyum hidrürün(RbH), NaH 'den daha mı az yoksa daha mı çok iyonik olmasını beklersiniz.(c) Radyum(Ra) ve su arasındaki tepkimeyi tahmin ediniz. (d) Havaya maruz bırakıldığında, alüminyum kuvvetli bir oksit(Al_2O_3) tabakası oluşturur ve bu tabaka onu korozyondan korur. 2A grubunda hangi metalin benzer özellik göstermesini beklersiniz? Neden?
- 8.133 Hidrojen molekülünün hem indirgen bir reaktif hem de yükseltgen bir reaktif olduğunu gösteren eşitlikler yazınız.
- 8.134** Mg^{2+} ve Ca^{2+} her biri önemli biyolojik iyonlardır. Onların bir işlevi, fosfat gruplarını ATP moleküllerine veya proteinlerin amino asitlerini bağlamaktır. Genel olarak 2A grubu metallerinin anyonları bağlama eğilimleri şu sıraya göre artar: $\text{Ba}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+}$. Bu eğilimi açıklayınız.

8.135 Sağdaki elementlerin her birini soldaki tanım ile eşleştiriniz.

- | | |
|---|-----------------------|
| (a) Suyla tepkimeye giren yeşilimsi sarı bir gaz. | Azot (N_2) |
| (b) Suyla tepkimeye girdiğinde hidrojen üreten yumuşak bir metal. | Bor (B) |
| (c) Erime noktası yüksek ve sert bir yarı metal | Alüminyum (Al) |
| (d) Renksiz, kokusuz bir gaz | Flor (F_2) |
| (e) Havada korozyona uğramayan, demirden daha etkin bir metal | Sodyum (Na) |

8.136 Periyodik çizelgenin önemi ile ilgili bir açıklama yazınız. Bir elementin çizelgedeki yerinin önemine dikkat çekiniz ve elementin yerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile nasıl bağlantılı olduğunu açıklayınız.

8.137 Li'dan Ne'a kadar, periyodik çizelgenin ikinci periyot elementleri için, aynı grafik üzerinde atom numaralarına karşı etkin çekirdek yükünü (bak. s. 336) ve atom yarıçaplarını (bak. Şekil 8.5) çizin. Eğilimleri yorumlayınız.

8.138 X elementinin bir allotropu renksiz kristal bir katıdır. Aşırı oksijen ile X'in tepkimesi, renksiz bir gaz oluşturmaktadır. Bu gaz suda çözünerek asidik bir çözelti oluşturabilmektedir. X'e karşılık gelebilecek olan aşağıdaki elementlerden birini seçiniz: (a) kükürt, (b) fosfor, (c) karbon, (d) bor, (e) silisyum

8.139 Magnezyum metali, havada yandığı zaman A ve B gibi iki ürün oluşturur. A suyla tepkimeye girerek, bazik çözelti verir. B'de suyla tepkimeye girer ve A'nın çözeltisine benzer bir çözeltiye ilaveten keskin kokulu bir gaz oluşturur. A ve B'yi tanımlayınız ve tepkimelerin denklemlerini yazınız. (İpucu: s. 360'daki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasına bakınız).

8.140 Bir elementin iyonlaşma enerjisi 412 kJ/mol'dür. Bu elementin izotopları birinci uyarılmış halde olduğunda, buna rağmen iyonlaşma enerjisi sadece 126 kJ/mol'dür. Bu bilgiye dayanarak, birinci uyarılmış halden temel hale geçişte, yayılan ışığın dalga boyunu hesaplayınız.

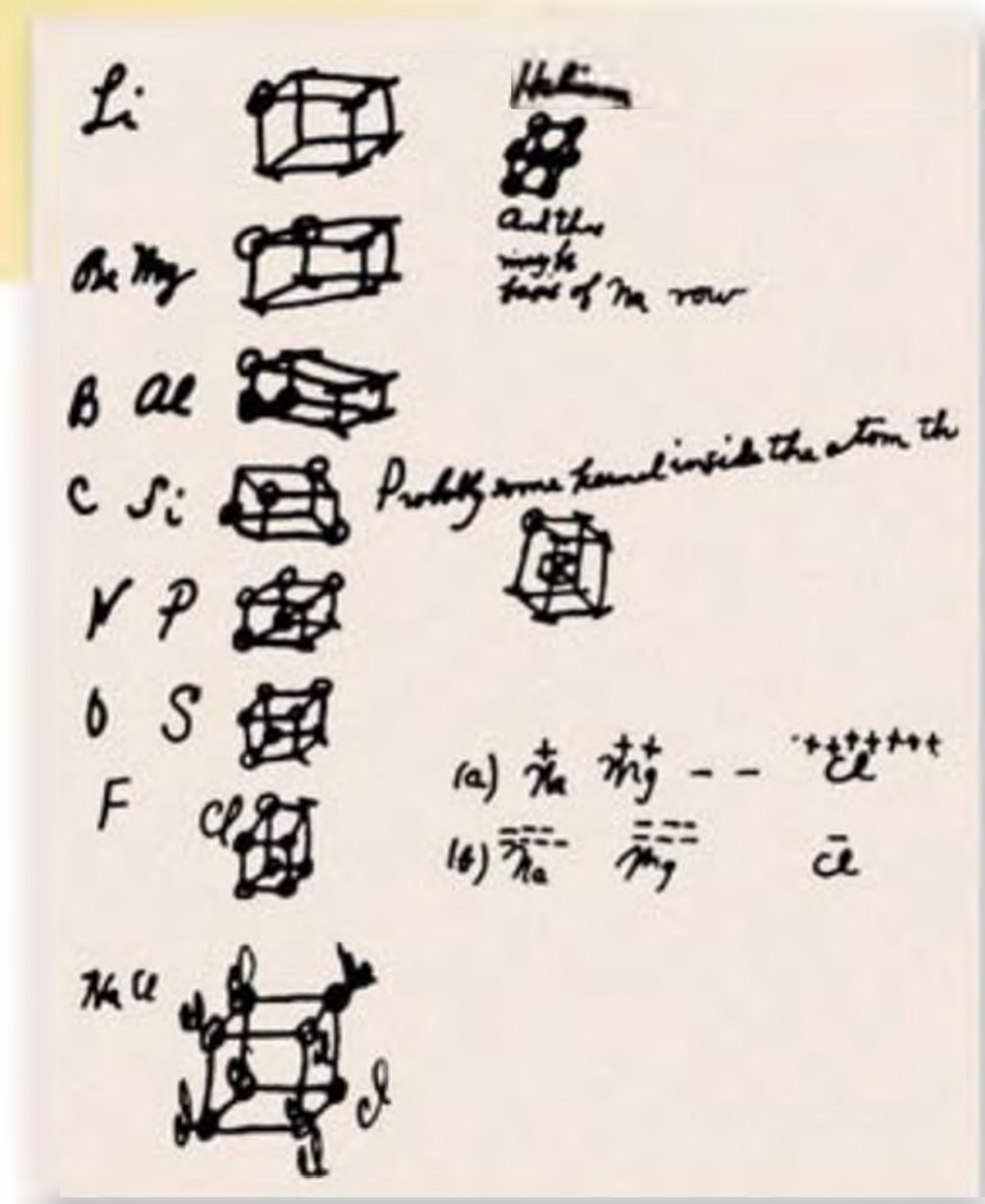
8.141 Termokimya bilginizi kullanarak, aşağıdaki işlemlerin ΔH değerlerini hesaplayınız: (a) $\text{Cl}^-(g) \rightarrow \text{Cl}^+(g) + 2e^-$ ve (b) $\text{K}^-(g) + 2e^- \rightarrow \text{K}^-(g)$.

8.142 Çizelge 8.2'ye bakarak, neden helyumun birinci iyonlaşma enerjisinin, hidrojenin birinci iyonlaşmasının iki katından biraz az olduğunu, ancak helyumun ikinci iyonlaşma enerjisinin, hidrojenin iyonlaşma enerjisinin iki katından fazla olduğunu açıklayınız. [İpucu: Coulomb yasasına göre, Q_1 ve Q_2 diye verilen iki yük, r mesafesi ile birbirinden ayrıldığında, enerji (Q_1Q_2/r) ile orantılı olur.]

- 8.1** (a) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$, (b) bir baş grup elementidir, (c) diyamagnetik. **8.2** $\text{Li} > \text{Be} > \text{C}$. **8.3** (a) Li^+ , (b) Au^{3+} , (c) N^{3-} . **8.4** (a) N, (b) Mg. **8.5** Hayır. **8.6** (a) amfoterik, (b) asidik, (c) bazik.

Kimyasal Bağlanma I

Temel Kavramlar



Lewis, oktet kuralı hakkındaki ilk düşüncesini bir zarfın arka yüzüne çizmişti.

Bölüm Başlıkları

- 9.1 Lewis Nokta Simgeleri
- 9.2 İyonik Bağ
- 9.3 İyonik Bileşiklerin Örgü Enerjisi
- 9.4 Kovalent Bağ
- 9.5 Elektronegatiflik
- 9.6 Lewis Yapılarının Yazılması
- 9.7 Formal Yük ve Lewis Yapısı
- 9.8 Rezonans Kavramı
- 9.9 Oktet Kuralından Sapmalar
- 9.10 Bağ enerjisi

Toplu Bakış

- Kimyasal bağlarla ilgili çalışmamıza, bir atom üzerindeki değerlik elektronlarını gösteren Lewis nokta simgelerine giriş ile başlayacağız. (9.1)
- Sonra iyonik bağların oluşumunu ve iyonik bileşiklerin kararlılığının bir ölçüsü olan örgü enerjisinin nasıl belirlendiğini öğreneceğiz. (9.2 ve 9.3)
- Hemen sonra kovalent bağların oluşumunu inceleyeceğiz. Oktet kuralı ile belirlenen Lewis yapılarının yazılmasını öğreneceğiz. (9.4)
- Moleküllerin özelliklerinin anlaşılmasında elektronegatifliğin önemli bir kavram olduğunu göreceğiz. (9.5)
- Molekül ve iyonlar için Lewis yapılarının yazılmasına devam edeceğiz ve bu türlerdeki elektron dağılımını görmek için formal yükleri kullanacağız. (9.6 ve 9.7)
- Bir molekülün Lewis yapılarını rezonans yapıları aracılığıyla da yazabilmeyi öğreneceğiz. Ayrıca oktet kuralından sapmalar olduğunu göreceğiz (9.8 ve 9.9)
- Bölüm, kovalent bağların kuvvetlerinin incelenmesiyle sona erecektir. Bir tepkimenin entalpisi, kovalent bağların kuvvetlerinin göstergesi olan bağ entalpilerinin kullanımı ile belirlenebilir (9.10)

Farklı elementlerin atomları neden tepkime verir? Moleküllerde ve iyonik bileşiklerde atomları bir arada tutan kuvvetler nelerdir? Moleküller hangi biçimleri alırlar? Bu bölümde ve Bölüm 10'da cevaplanacak sorulardan bazıları bunlardır. Tartışmamıza iyonik ve kovalent bağ olmak üzere iki tip bağı ve bunları kararlı yapan kuvvetleri inceleyerek başlayacağız.

9.1 Lewis Nokta Simgeleri

Periyodik çizelge ve elektron dağılımı kavramının gelişimi, kimyacılar için molekül ve bileşik oluşumunun açıklanmasında temel olmuştur. Gilbert Lewis¹ tarafından formülendirilmiş tanımlamaya göre; atomlar, çok daha kararlı bir elektron dağılımı oluşturmak için bir araya gelirler. Bir atom, bir soy gazla aynı elektron dağılımına sahip olduğunda, en kararlı dağılıma ulaşır.

Atomlar, kimyasal bir bağ oluşturmak için birbirleriyle etkileştiklerinde, sadece en dış tabakaları temas eder. Bu nedenle, kimyasal bağlanmayı incelerken öncelikle atomların değerlik elektronlarını göz önüne alırız. Kimyacılar bir kimyasal tepkimede değerlik elektronlarını izlemek ve toplam elektron sayısının değişmediğinden emin olmak için Lewis tarafından geliştirilen Lewis nokta simgelerini kullanırlar. **Lewis nokta simgesi**, elementin simgesi ve atomundaki her bir değerlik elektronuna karşılık gelen bir noktadan oluşur. Soy gazlar ve başgrup elementlerinin Lewis nokta simgeleri Şekil 9.1'de gösterilmiştir. Burada helyum hariç, atomların değerlik elektronları sayısının, elementin grup numarasıyla aynı olduğuna dikkat edilmelidir. Örneğin, Li, 1A Grubu elementidir ve bir değerlik elektronu için bir nokta, Be, 2A Grubu elementidir ve iki değerlik elektronu için iki nokta vb. kullanılmıştır. Aynı gruptaki elementler aynı değerlik elektronu dağılımına sahip olduğundan, aynı Lewis nokta simgeleriyle gösterilirler. Geçiş metalleri, lantanitler ve aktinitler iç kabuklarını tam olarak dolduramadıklarından; bunların Lewis nokta simgeleri genellikle yazılamaz.

¹Gilbert Newton Lewis (1875-1946). Amerikalı kimyacı. Lewis, kimyasal bağlanma, asit ve bazlar, termodinamik ve spektroskopi alanlarında önemli katkılarda bulundu. Lewis, çalışmalarının önemine rağmen hiçbir zaman Nobel ödülüyle ödüllendirilmedi.

1 1A	2 2A	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 9B	10 10B	11 1B	12 2B	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
•H																	He:
•Li	•Be•											•B•	•C•	•N•	•O•	•F•	•Ne•
•Na	•Mg•											•Al•	•Si•	•P•	•S•	•Cl•	•Ar•
•K	•Ca•											•Ga•	•Ge•	•As•	•Se•	•Br•	•Kr•
•Rb	•Sr•											•In•	•Sn•	•Sb•	•Te•	•I•	•Xe•
•Cs	•Ba•											•Tl•	•Pb•	•Bi•	•Po•	•At•	•Rn•
•Fr	•Ra•																

Şekil 9.1 Başgrup elementleri ve soy gazların Lewis nokta simgeleri. Eşleşmemiş noktaların sayısı, bir elementin atomunun moleküler bir bileşikte oluşturabileceği bağların sayısına karşılık gelir.

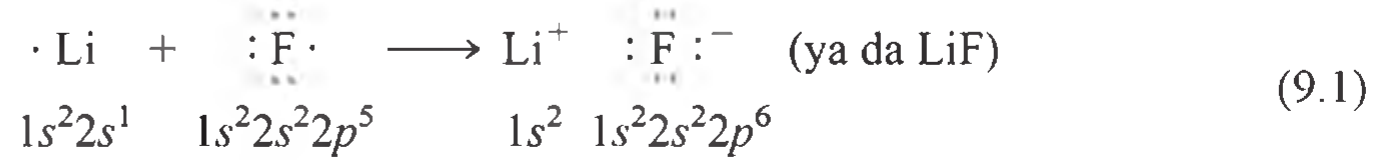
Bu bölümde, belirli bir element atomunun oluşturabileceği bağ sayısı ve türün kararlılığının yanında, bağ türünü de öngörebilmek için periyodik çizelgeyi ve elektron dağılımını nasıl kullanacağımızı öğreneceğiz.

9.2 İyonik Bağ

Bölüm 8’de, elektron ilgisi yüksek olan element atomları anyon oluşturmaya eğilimli iken, düşük iyonlaşma enerjili olanların katyon oluşturmaya eğilimli olduğunu gördük. İyonik bileşiklerde bir kural olarak, genelde katyonları oluşturan elementler alkali metaller veya toprak alkali metaller iken, anyonları oluşturan elementler halojenler ve oksijendir. Buna göre iyonik bileşiklerin büyük bir kısmı, bir 1A Grubu ya da 2A Grubu metalı ile bir halojen ya da oksijenin birleşmesiyle oluşur. Bir *iyonik bağ*, bir iyonik bileşikte iyonları bir arada tutan elektrostatik kuvvettir. Örneğin, lityum florür oluşturmak için lityum ve flor arasındaki tepkimeyi göz önüne alalım. Lityum florür, seramik üretiminde ve lehimin erime noktasını düşürmek için kullanılan zehirli beyaz bir tozdur. Lityumun elektron dağılımı, $1s^2 2s^1$ ve florun elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^5$ şeklindedir. Lityum ve flor atomları birbirleriyle etkileştiği zaman, lityumun $2s^1$ deki değerlik elektronu flor atomuna aktarılır. Lewis nokta simgelerini kullanarak bu tepkimeyi şu şekilde gösteririz:



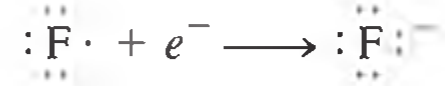
Lityum florür. LiF endüstriyel olarak, diğer pek çok iyonik bileşikler gibi, bu bileşiği içeren minerallerin saflaştırılmasıyla elde edilir.



Kolaylık olsun diye bu tepkimenin ayrı basamaklarda oluştuğunu düşünelim. İlk basamak Li’nin iyonlaşması:



Sonra F tarafından bir elektronun alınması:



Daha sonra iki ayrı iyonun LiF oluşturmak üzere birleştiğini düşünelim:

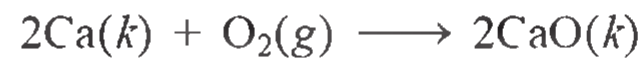


Bu üç eşitliğin toplamının aşağıdaki gibi olduğuna,

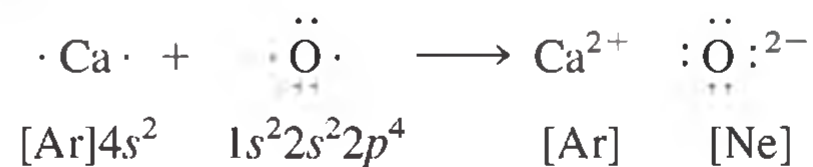


ve Eşitlik (9.1) ile aynı olduğuna dikkat ediniz. LiF’deki iyonik bağ, pozitif yüklü lityum iyonu ve negatif yüklü flor iyonu arasındaki elektrostatik çekimdir. Bileşiğin kendisi elektriksel olarak nötrdür.

Diğer pek çok bilinen tepkimeler de iyonik bağların oluşmasına neden olur. Örneğin, kalsiyum oksit oluşturmak için kalsiyumun oksijenle yanması:



Önce, iki atomlu O_2 molekülünün iki ayrı oksijen atomuna ayrıldığını varsayalım (bu basamağın enerjisini daha sonra inceleyeceğiz). Tepkimeyi, Lewis simgeleriyle aşağıdaki gibi gösterebiliriz.



İyonik bileşiklerin formüllerini normalde yükleri göstermeden yazarız. Buradaki + ve - elektronların aktarımını vurgulamak için gösterilmiştir.

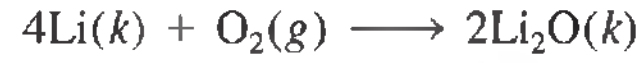


Animasyon

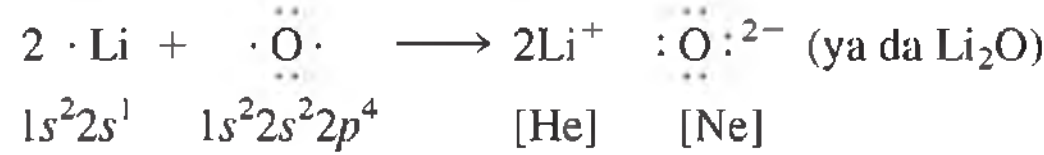
Magnezyum ve oksijenin tepkimesi

Burada kalsiyum atomundan oksijen atomuna iki elektron aktarımı olur. Oluşan kalsiyum iyonunun (Ca^{2+}), argonun elektron dağılımına sahip olduğuna, oksit iyonunun (O^{2-}), neon ile izoelektronik olduğuna ve CaO bileşiğinin elektriksel olarak nötr olduğuna dikkat ediniz.

Birçok durumda, bir bileşikteki katyon ve anyon aynı yükleri taşımaz. Örneğin lityum, lityum oksit (Li_2O) oluşturmak üzere havada yandığında, denkleştirilmiş eşitlik şöyledir:



Lewis nokta simgelerini kullanarak, eşitliği şu şekilde yazabiliriz:

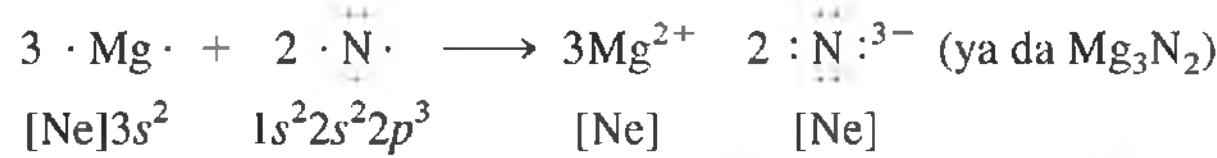


Bu tepkimede, oksijen atomu oksit iyonunu oluşturmak üzere iki elektron (iki lityum atomunun her birinden bir tane) alır. Li^+ iyonu helyum ile izoelektroniktir.

Magnezyum yüksek sıcaklıklarda azot ile tepkime verdiğinde, beyaz katı bir bileşik olan magnezyum nitrit (Mg_3N_2) oluşur.



ya da



Tepkime, iki azot atomuna altı elektron (her bir Mg atomundan iki elektron) aktarımını içerir. Oluşan magnezyum iyonu (Mg^{2+}) ve nitrit iyonunun (N^{3-}) her ikisi de neon ile izoelektroniktir. Üç tane +2 yüklü iyon, iki tane -3 yüklü iyon olduğundan, bileşik yük dengesi ve elektriksel olarak nötrdür.

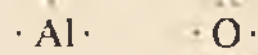
Örnek 9.1'de, bir iyonik bileşiğin oluşumunu, Lewis nokta simgelerini kullanarak göstereceğiz.

Örnek 9.1

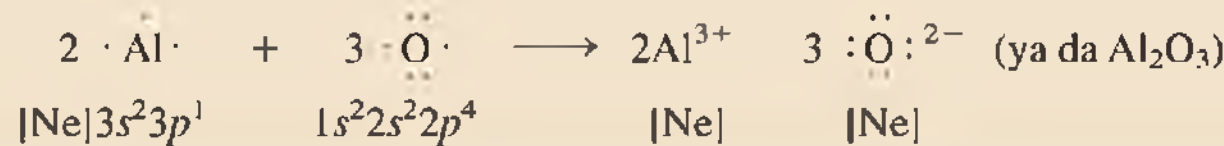
Lewis nokta simgelerini kullanarak, alüminyum oksitin (Al_2O_3) oluşumunu gösteriniz.

İzlenecek Yol İyonik bileşiklerin formüllerini yazmada, elektro-nötrallığı esas alırız. Yani, katyonlar üzerindeki toplam pozitif yük, anyonlar üzerindeki toplam negatif yüke eşit olmalıdır.

Çözüm Şekil 9.1'e göre Al ve O atomlarının Lewis nokta simgeleri aşağıdaki gibidir.



İyonik bileşiklerde alüminyum katyon (Al^{3+}), oksijen ise anyon (O^{2-}) oluşturma eğiliminde olduğundan, elektronların aktarımı alüminyumdan oksijen atomuna doğru olur. Her bir Al atomunun üç değerlik elektronu vardır ve her bir O atomunun neon ile izoelektronik olan O^{2-} iyonunu oluşturmak için iki elektrona ihtiyacı vardır. Buna göre, Al^{3+} katyonunun O^{2-} anyonuna en basit nötrleşme oranı 2:3'dür. İki tane Al^{3+} iyonunun toplam yükü +6 ve üç tane O^{2-} iyonunun toplam yükü -6'dır. Bu nedenle alüminyum oksitin kaba formülü Al_2O_3 'dür. Tepkime şu şekildedir:



(Devamı)



Korundum minerali (Al_2O_3).

Berzer problemler: 9.17, 9.18.

Kontrol Eşitliğin her iki tarafında değerlik elektron sayılarının (24) eşit olduğundan emin olunuz. Al_2O_3 'deki alt indisle gösterilmiş sayılar, en küçük olası tam sayılar mıdır?

Alıştırma Lewis nokta simgelerini kullanarak, baryum hidrür oluşumunu gösteriniz.

9.3 İyonik Bileşiklerin Örgü Enerjisi

Örgü enerjisinin değeri, iyonların yükü ve aralarındaki uzaklık tarafından belirlenir.

İyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi esas alarak, hangi elementlerin iyonik bileşik oluşturmaya eğilimli olduğunu öngörebiliriz, ancak iyonik bir bileşiğin kararlılığını nasıl değerlendirebilirsiniz? İyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi gaz fazında tanımlanır, fakat 1 atm ve 25°C 'de tüm iyonik bileşikler katıdır. Katı halde çok farklı bir çevre mevcut olup, her bir katyon belirli sayıda anyonlarla çevrilmiştir ya da tam tersidir. Bu nedenle, katı bir iyonik bileşiğin kararlılığı sadece tek bir katyonun tek bir anyonla etkileşimine değil, tüm bu iyonların etkileşimlerine bağlıdır. Herhangi bir iyonik katının kararlılığının nicel ölçüsü onun *örgü enerjisi*dir. *Örgü enerjisi*, katı bir iyonik bileşiğin bir molünü tamamen gaz iyonlarına ayırtmak için gerekli olan enerjidir (bakınız Kısım 6.7).

Born-Haber Döngüsüyle Örgü Enerjilerinin Belirlenmesi

Örgü enerjisi doğrudan ölçülemez. Ancak, eğer bir iyonik bileşiğin yapısını ve bileşimini bilirsek, *iki iyon arasındaki potansiyel enerjinin (E), bu iyonların yüklerinin çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklık ile ters orantılı olduğunu ifade eden Coulomb¹ yasasını kullanarak bileşiğin örgü enerjisini hesaplayabiliriz.* Coulomb Yasası, Birbirinden r uzaklıkta bulunan bir Li^+ ve bir F^- iyonundan oluşan sistemin potansiyel enerjisini şöyle verir:

Enerji = kuvvet x uzaklık olduğundan; Coulomb yasası

$$F = k \frac{Q_{\text{Li}^+} Q_{\text{F}^-}}{r^2}$$

şeklinde de ifade edilebilir. F , iyonlar arasındaki kuvvettir.

$$E \propto \frac{Q_{\text{Li}^+} Q_{\text{F}^-}}{r} = k \frac{Q_{\text{Li}^+} Q_{\text{F}^-}}{r} \quad (9.2)$$

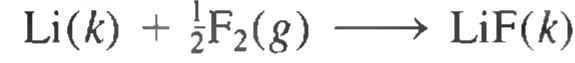
Q_{Li^+} ve Q_{F^-} sırasıyla Li^+ ve F^- iyonlarının yükü, k orantı sabitidir. Q_{Li^+} pozitif, Q_{F^-} negatif olduğundan E negatiftir. Dolayısıyla Li^+ ve F^- arasında iyonik bağ oluşumu ekzotermik bir süreçtir. Sonuç olarak bu sürecin tersi için sisteme enerji verilmelidir. Başka bir deyişle LiF 'ün örgü enerjisi pozitifdir. Yani, Li^+ ve F^- iyonlarının birbiriyle bağlı durumu bu iyonların ayrı durumundan daha karardır.

İyonik bir bileşiğin oluşumunun bir dizi basamakta gerçekleştiğini varsayarak örgü enerjisini dolaylı olarak da belirleyebiliriz. Bu işlem, *iyonik bileşiklerin örgü enerjilerinin; iyonlaşma enerjileri, elektron ilgileri ve diğer atomik ve moleküler özelliklerle ilgili olduğunu varsayan Born-Haber çevrimi* olarak bilinir. Bu çevrim Hess

¹Charles Augustin de Coulomb (1736-1806). Fransız fizikçi. Coulomb elektrik ve manyetizma alanında araştırmalar yaptı ve Newtonun ters kare yasasını elektrige uyguladı. Ayrıca torsiyon terazisini buldu.

yasasına dayanır (bakınız Kısım 6.6). Max Born¹ ve Fritz Haber¹ tarafından geliştirilen Born-Haber çevrimi, iyonik bir katının oluşumunda değişik basamakları tanımlar. Lityum florürün örgü enerjisini belirlemede bu döngünün kullanımını gösterelim.

Lityum ve flor arasındaki tepkimeyi ele alalım.



Bu tepkime için standart entalpi değişimi $-594,1 \text{ kJ/mol}$ 'dür. Tepkenler ve ürünler standart hallerinde yani 1 atm 'de olduklarından, bu aynı zamanda LiF'in standart oluşum entalpisi'dir. Basamaklardaki entalpi değişimlerinin toplamının, tüm tepkimedeki entalpi değişimine ($-594,1 \text{ kJ/mol}$) eşit olduğunu akılda tutarak, LiF'in beş ayrı basamakta elementlerinden oluşumunu inceleyebiliriz. Gerçekte işlem tam olarak bu yolla olmayabilir. Ancak bu yaklaşım bize, Hess yasasının uygulanmasıyla iyonik bir bileşiğin oluşumundaki enerji değişikliklerini analiz etmemize olanak sağlar.

1. Katı lityumu buhar fazındaki lityuma dönüştürünüz (bir katının doğrudan gaz fazına dönüştürme süblimleşme olarak bilinir):



Lityumun süblimleşme enerjisi $155,2 \text{ kJ/mol}$ 'dür.

2. $\frac{1}{2}$ mol F_2 gazını, gaz halindeki F atomlarına ayırıyoruz:



1 mol F_2 molekülündeki bağları kırmak için gerekli enerji $150,6 \text{ kJ}$ 'dür. Burada yarım mol F_2 bağlarını kırdığımızdan, entalpi değişimi $150,6/2$ yani $75,3 \text{ kJ}$ 'dür.

3. 1 mol gaz Li atomlarını iyonlaştırmız (bakınız Çizelge 8.2):

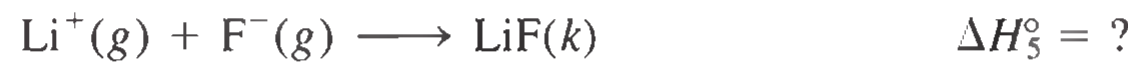


Bu işlem lityumun birinci iyonlaşmasıdır.

4. Gaz fazındaki 1 mol F atomlarına 1 mol elektron ekleyiniz. Sayfa 347'de tartışıldığı üzere, bu işlemdeki enerji değişimi elektron ilgisinin tersidir (bakınız Çizelge 8.3):



5. 1 mol katı LiF oluşturmak için, gaz halindeki 1 mol Li^+ ve 1 mol F^- türlerini bu araya getiriniz:



Basamak 5'in tersi, LiF'in örgü enerjisini tanımlamaktadır.

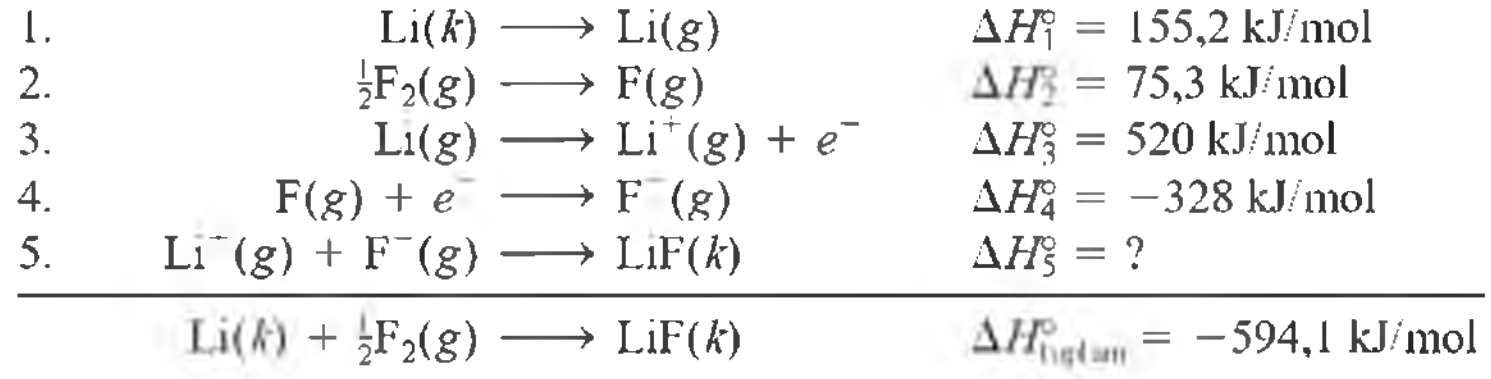


F_2 molekülündeki F atomları kovalent bağla bir arada tutulur. Bu bağı kırmak için gerekli enerji bağ enerjisi olarak adlandırılır (kısım 9.10)

¹Max Born (1882-1970). Alman fizikçi. Born modern fiziğin kurucularından birisiydi. Çalışma alanı genişti. 1954 yılında parçacıkların dalga fonksiyonu üzerine olan çalışmaları nedeniyle fizik alanında Nobel Ödülü aldı.

¹Fritz Haber (1868-1934). Alman kimyacı. Haber'in atmosferdeki azottan amonyak sentezi, Almanya'da I. Dünya Savaşı sırasında patlayıcılar için kullanılan nitratların elde edilmesine olanak sağladı. Ayrıca savaş gazları üzerine de çalıştı. Haber, 1918'de kimya alanında Nobel Ödülü aldı.

Bu nedenle, LiF'ün örgü enerjisi ΔH_5° ile aynı büyüklükte fakat zıt işaretli olmalıdır. ΔH_5° 'i doğrudan belirleyemeyiz, ancak aşağıdaki işlemle hesaplayabiliriz.



Hess yasasına göre:

$$\Delta H_{\text{toplam}}^\circ = \Delta H_1^\circ + \Delta H_2^\circ + \Delta H_3^\circ + \Delta H_4^\circ + \Delta H_5^\circ$$

veya;

$$-594,1 \text{ kJ/mol} = 155,2 \text{ kJ/mol} + 75,3 \text{ kJ/mol} + 520 \text{ kJ/mol} - 328 \text{ kJ/mol} + \Delta H_5^\circ$$

Buradan,

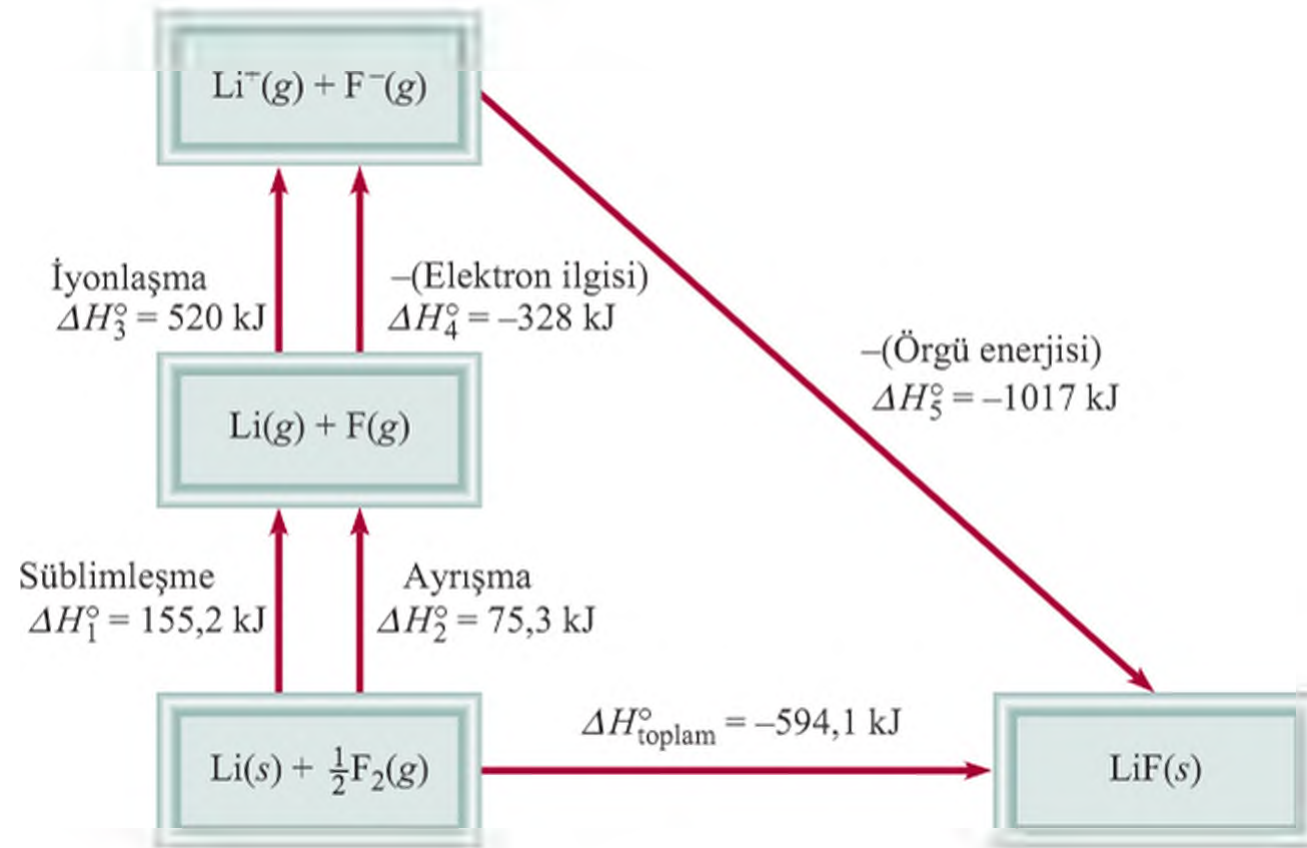
$$\Delta H_5^\circ = -1017 \text{ kJ/mol}$$

ve LiF'ün örgü enerjisi $+1017 \text{ kJ/mol}$ 'dür.

Şekil 9.2 LiF için Born-Haber çevrimini özetlemektedir. 1, 2 ve 3. basamakların hepsi enerji alınmasını gerektirirken, 4 ve 5. basamaklar enerji açığa çıkmasını gerektirmektedir. ΔH_5° büyük bir negatif değer olduğundan, LiF'ün örgü enerjisi de büyük bir pozitif değerdir. Bu durum, katı LiF'ün kararlılığını açıklamaktadır. Örgü enerjisi ne kadar büyükse, bu daha kararlı iyonik bileşik demektir. Bir katıdaki iyonların gaz halindeki iyonlarına ayrışması, Coulomb yasasına göre endotermik bir işlem olduğundan, örgü enerjisi değerinin daima pozitif olduğu unutulmamalıdır.

Çizelge 9.1, bilinen bazı iyonik bileşiklerin erime noktası ve örgü enerjilerini göstermektedir. Örgü enerjisi ve erime noktası arasında yaklaşık bir ilişki vardır. Daha büyük örgü enerjisi, birbirini daha sıkı tutan iyonlar ve daha kararlı katı demektir. Böyle bir katıyı eritmek daha fazla enerji gerektirir. Bu nedenle böyle bir katı, küçük örgü enerjili olanlara göre daha yüksek bir erime noktasına sahiptir. MgCl_2 , NaO_2 ve

Şekil 9.2 1 mol katı LiF oluşumu için Born-Haber çevrimi.



Çizelge 9.1**Bazı Alkali Metaller ile Toprak Alkali Metal Halojenürleri ve Oksitlerinin Örgü Enerjileri ve Erime Noktaları**

Bileşik	Örgü Enerjisi (kJ/mol)	Erime Noktası (°C)
LiF	1017	845
LiCl	828	610
LiBr	787	550
LiI	732	450
NaCl	788	801
NaBr	736	750
NaI	686	662
KCl	699	772
KBr	689	735
KI	632	680
MgCl ₂	2527	714
Na ₂ O	2570	Süb*
MgO	3890	2800

*Na₂O, 1275°C'de süblimleşir.

MgO'nun son derece yüksek örgü enerjilerine sahip olduklarına dikkat ediniz. Bunun nedeni, bu iyonik bileşiklerin iki yüklü bir katyon olan Mg²⁺ gibi bir iyon ve iki yüklü bir anyon olan O²⁻ gibi bir iyonla sahip olmasıdır. Üçüncüsü ise oluşturdıkları bileşikte iki yüklü Mg²⁺ ve O²⁻ iyonları arasındaki güçlü etkileşimdir. İki yüklü iki tür arasındaki ya da iki yüklü bir iyon ile tek yüklü bir iyon arasındaki coulomb etkileşimleri, tek yüklü anyon ve katyonlar arasındakinden çok daha kuvvetlidir.

Örgü Enerjisi ve İyonik Bileşiklerin Formülü

Örgü enerjisi iyonik bileşiklerin kararlılığının bir ölçüsü olduğundan, örgü enerjisinin değeri iyonik bileşiklerin formüllerinin açıklanmasında bize yardımcı olabilir. Magnezyum klorürü örnek olarak alalım. Bir elementin iyonlaşma enerjisinin, o elementin atomundan peş peşe elektronlar uzaklaştırılırken, hızlı bir şekilde arttığını görmüştük. Örneğin magnezyumun birinci iyonlaşma enerjisi 738 kJ/mol iken, ikinci iyonlaşma enerjisi birincisinin neredeyse iki katı büyüklükte yani 1450 kJ/mol'dür. Magnezyumun bileşiklerinde enerji açısından neden tek pozitif yüklü iyonlar oluşturmayı tercih etmediği sorusunu sorabiliriz. Başka bir deyişle, neden magnezyum klorürü MgCl yani Mg⁺ iyonu içeren formüle değil de, MgCl₂ yani Mg²⁺ iyonu içeren formüle sahiptir? Hiç kuşkusuz Mg²⁺ iyonu dolmuş kabuk yapısı nedeniyle kararlı olan soy gaz [Ne] elektron dağılımına sahiptir. Ancak dolmuş kabuk yapısı nedeniyle kazanılan bu kararlılık, Mg⁺ iyonundan bir elektron daha uzaklaştırmak için gerekli olan enerji girişinden daha fazla değildir. Formülün MgCl₂ olmasının altındaki belirleyici neden, katı magnezyum klorür oluşumu ile kazanılan ekstra kararlılığa dayanmaktadır. MgCl₂'ün örgü enerjisi 2527 kJ/mol olup bir Mg atomundan ilk iki elektronu uzaklaştırmak için gerekli olan enerjiyi (738 kJ/mol + 1450 kJ/mol = 2188 kJ/mol) karşılayacak kadar yüksektir.

Peki ya sodyum klorürde durum nedir? Neden sodyum klorürün formülü NaCl₂ (yani Na²⁺) değil de NaCl'dir. Na²⁺ soy gaz elektron dağılımına sahip olmamasına rağmen, yükü daha fazla olduğu için kuramsal olarak daha büyük örgü enerjisine sahip olduğundan, bileşiğin NaCl₂ olduğunu zannedebiliriz. Daha önce olduğu gibi bunun

Sodyum Klorür – Önemli ve Çok Bilinen Bir İyonik Bileşik

Sodyum klorürü sofratuzu olarak bilmekteyiz. Erimiş halde ve sulu çözeltisinde elektriği ileten, yüksek erime noktasına sahip (801 °C) ve kırılğan bir katı olan sodyum klorür, tipik bir iyonik bileşiktir. Katı NaCl'in yapısı Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Sodyum klorürün bir kaynağı, genellikle yüzlerce metre yeraltı kaynaklarında bulunan kaya tuzudur. Ayrıca deniz suyundan ya da tuzlu suyun güneşte buharlaştırılmasından da elde edilir. Sodyum klorür doğada mineral kaya tuzu (*halit*) olarak da bulunur.

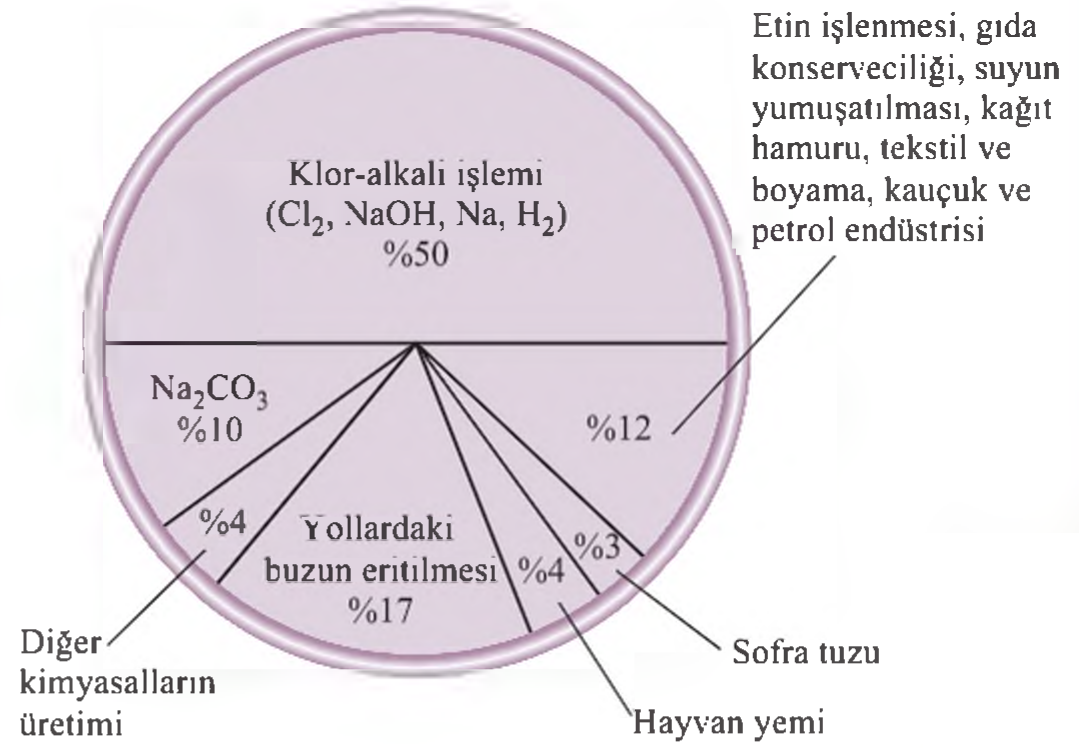
Sodyum klorür, inorganik kimyasalların üretiminde diğer kimyasallardan daha fazla kullanılır. Bu maddenin dünyadaki tüketimi yılda 200 milyon ton civarındadır. Sodyum klorürün önemli kullanım alanı; klor gazı, sodyum hidroksit, sodyum metali, hidrojen gazı ve sodyum karbonat gibi temel inorganik kimyasalların üretimidir. Sodyum klorür yol ve otobanlardaki kar ve buzun eritmek için de kullanılır, ancak bitkiler için zararlı olup arabaların korozyonunu da arttırdığı için bu amaçla kullanımı önemli bir çevresel tehdit oluşturmaktadır.



Sodyum klorür elde edilmesinde güneş buharlaştırma işlemi



Yeraltı kaya tuzu madenciliği



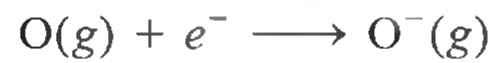
Sodyum klorürün kullanımı alanları.

cevabı, enerji girişi yani iyonlaşma enerjileri ile katının oluşumuyla kazanılan kararlılık arasındaki dengede yatmaktadır. Sodyumun ilk iki iyonlaşma enerjisinin toplamı şöyledir:

$$496 \text{ kJ/mol} + 4560 \text{ kJ/mol} = 5056 \text{ kJ/mol}$$

Sonuçta NaCl_2 oluşmaz, çünkü eğer örgü enerjisini 2527 kJ/mol yani MgCl_2 için olanla aynı kabul edersek, bu enerjinin Na^{2+} iyonunu oluşturmak için gerekli enerjiyi karşılamaktan çok uzak, yani küçük olduğunu görürüz.

Kasyonlar için söylenenlerin hepsi anyonlara da uygulanır. Kısım 8.5’de oksijenin elektron ilgisinin 141 kJ/mol olduğunu yani aşağıdaki tepkimenin enerji açığa çıkardığını ve buna göre yeğlenir olduğunu gördük.



Gaz fazında O^- iyonuna ikinci bir elektron eklendiğinde elektrostatik itmedeki artış nedeniyle bu tepkimenin tercih edilmesi beklenmez.



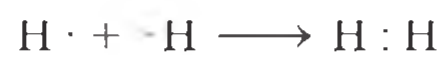
Gerçekte O^- ’nin elektron ilgisi negatiftir. (-844 kJ/mol). O^- iyonu içeren bileşikler bilinmemesine rağmen, oksit iyonu (O^{2-}) içeren bileşikler çok yaygındır ve bunlar oldukça kararlıdır. Bunun açıklaması, Na_2O ve MgO gibi bileşiklerde O^{2-} iyonu nedeniyle oluşan yüksek örgü enerjisinin, O^{2-} iyonu oluşturmak için gerekli enerjinin çok üstünde olmasıdır.

Kavramların Değerlendirilmesi

LiCl ve CsBr ’den hangisi daha büyük örgü enerjisine sahiptir?

9.4 Kovalent Bağ

Molekül kavramının ilk ortaya çıkışı 17. yüzyıla kadar gitse de, kimyacılar moleküllerin nasıl ve neden oluştuğunu 20. yüzyılın başlarına kadar anlayamamışlardır. Bu konudaki ilk büyük öneri, Gilbert Lewis’in bir kimyasal bağın, elektronların paylaşımıyla gerçekleşebileceği şeklindeki açıklaması olmuştur. Lewis, H_2 ’deki kimyasal bağ oluşumunu şu şekilde göstermiştir.



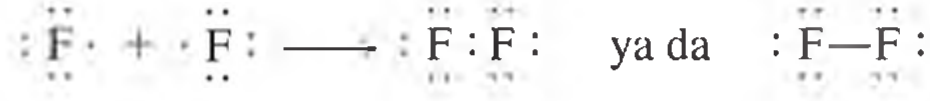
Bu tür bir elektron eşleşmesi, *iki elektronun iki atom tarafından paylaşılmasıyla oluşan kovalent bağa* bir örnektir. **Kovalent bileşikler sadece kovalent bağlar içeren bileşiklerdir.** Kolaylık olsun diye, paylaşılan elektron çiftleri genellikle tek bir çizgi ile gösterilir. Bu nedenle hidrojen molekülündeki kovalent bağ $\text{H}-\text{H}$ şeklinde yazılabilir. Bir kovalent bağda paylaşılan elektron çiftinin her biri, her iki atomun çekirdeği tarafından da çekilir. Bu çekim, H_2 molekülündeki iki atomu bir arada tutar. Diğer moleküllerdeki kovalent bağların oluşmasında böyle olur.

Çok elektronlu atomlar arasındaki kovalent bağlanma sadece değerlik elektronları kullanılarak gerçekleşir. Örneğin, F_2 molekülünü gözönüne alalım. F’un elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^5$ şeklindedir. $1s$ elektronları düşük enerjilidir ve zamanlarının çoğunu çekirdeğe yakın olarak geçirirler. Bu nedenle, bağ oluşumuna katılmazlar. F yedi değerlik elektronuna ($2s$ ve $2p$ elektronları) sahiptir. Şekil 9.1’de görüldüğü gibi F

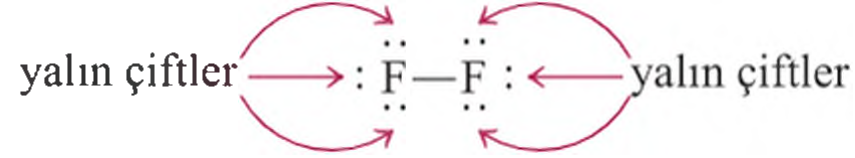
 Animasyon
Bir kovalent bağın oluşumu

Bu tartışma sadece baş grup elementleri içindir. Bu elementlerin değerlik elektronlarının, grup numaralarına (Grup 1A-7A) eşit olduğunu hatırlayınız.

atomunda sadece bir tane eşleşmemiş elektron vardır. Dolayısıyla F_2 molekülünün oluşumu aşağıdaki gibi gösterilebilir.



F_2 oluşumuna yalnızca iki değerlik elektronunun katıldığına dikkat ediniz. Diğer bağ yapmayan elektronlar, yani *kovalent bağlanmaya katılmayan değerlik elektron çiftleri*, *yalın elektron çiftleri* diye adlandırılırlar. Buna göre F_2 molekülündeki her bir F atomu üç adet yalın elektron çiftine sahiptir.



Kovalent bileşikler göstermek için kullandığımız H_2 ve F_2 gibi yapılara Lewis yapıları denir. **Lewis yapısı**, kovalent bağlanmanın bir gösterimidir. Bu yapıda iki atom arasında paylaşılan elektronlar nokta çiftleri ya da çizgiler; yalın elektronlar ise atomlar üzerinde nokta çiftleri olarak gösterilir. Lewis yapısında sadece değerlik elektronları gösterilir.

Şimdi su molekülünün Lewis yapısını ele alalım. Şekil 9.1'de görüldüğü gibi oksijen atomunun Lewis simgesinde iki eşleşmemiş nokta, yani eşleşmemiş elektron vardır. Öyleyse oksijen atomu iki kovalent bağ yapmalıdır. Hidrojenin bir elektronu vardır ve yalnızca bir kovalent bağ oluşturabilir. Buna göre, suyun Lewis yapısını aşağıdaki gibi yazabiliriz:



Bu durumda O atomunun iki yalın elektron çifti vardır. Hidrojen atomu ise var olan tek elektronunu kovalent bağ yapmak için kullandığından, yalın elektron çiftine sahip değildir.

F_2 ve H_2O moleküllerinde, F ve O atomları elektronlarını paylaşarak, kararlı soy gaz elektron dağılımına ulaşmayı başarmışlardır.

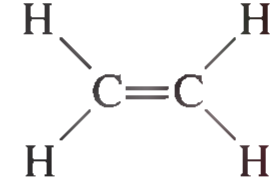
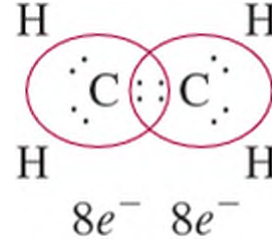
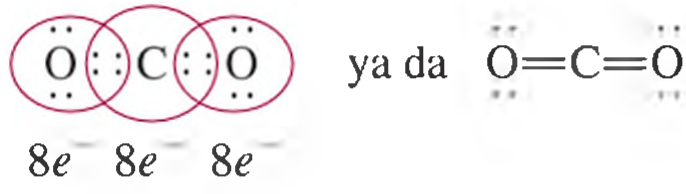


Bu moleküllerin oluşumu Lewis tarafından geliştirilen **oktet kuralı**'nı göstermektedir. Bu kurala göre; *hidrojen dışındaki atomlar sekiz değerlik elektronu ile çevrilmeye kadar bağlar oluşturma eğilimindedirler*. Başka bir deyişle, bir kovalent bağ, bu bağ oluşturan her bir atomun kendi başına oktetini tamamlamaya yetecek sayıda elektronu olmadığında oluşur. Bir kovalent bağda, atomlar elektronlarını paylaşarak oktetlerini tamamlayabilirler. Hidrojen atomunun ise toplam iki elektrona ya da helyumun elektron dağılımına ulaşması gerekmektedir.

Oktet kuralı daha çok periyodik çizelgenin ikinci periyot elementleri için geçerlidir. Bu elementler, ancak toplam sekiz elektron alabilecek $2s$ ve $2p$ alt kabuklarına sahiptir. Bu elementlerin atomları, bir kovalent bağda diğer atomlarla elektronlarını paylaşarak soy gaz [Ne] elektron dağılımına ulaşabilecektir. Daha ileriki kesimlerde, oktet kuralından sapmaları inceleyecek ve kimyasal bağın özelliklerini daha iyi anlayacağız.

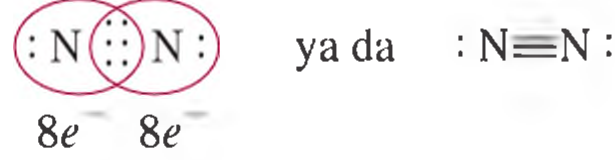
Atomlar farklı türde kovalent bağlar oluşturabilirler. **Tekli bir bağda**, iki atom bir elektron çiftiyle bir arada tutulur. Bazen iki atom iki ya da daha fazla elektron çiftini paylaşabilir. Böyle bağlara **çoklu bağlar** denir. Eğer iki atom, iki elektron çiftini pay-

laşırsa, oluşan kovalent bağa **ikili bağ** denir. Karbondioksit (CO_2) ve etilen (C_2H_4) moleküllerinde ikili bağlar vardır.

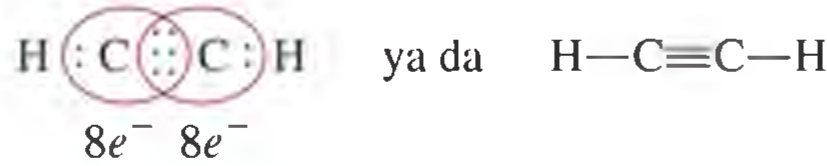


Uygun Lewis yapılarının yazılması için gerekli olan kurallar daha sonra kısaca verilecektir. Burada şimdilik amaçlanan, bu yapılarla ilgili terimlere aşina olmamızdır.

Azot molekülünde (N_2) olduğu gibi, *iki atom üç elektron çiftini paylaşırsa bir üçlü bağ* oluşur.



Asetilen (C_2H_2) molekülünde iki karbon atomu arasında üçlü bağ vardır.



Etilen ve asetilendeki tüm değerlik elektronlarının bağlanmada kullanıldığına ve karbon atomları üzerinde yalnız elektron çiftlerinin kalmadığına dikkat ediniz. Aslında karbon monoksit hariç, karbon içeren kararlı moleküller, karbon atomları üzerinde yalnız elektron çiftleri içermezler.

Çoklu bağlar tekli kovalent bağlardan daha kısadır. *Bir molekülde kovalent bağla bağlı iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığa **bağ uzunluğu***, denir (Şekil 9.3). Çizelge 9.2. deneysel olarak belirlenen bazı bağ uzunluklarını göstermektedir. Karbon ve azot gibi bir atom çiftinde üçlü bağlar ikili bağlardan ve dolayısıyla ikili bağlar da tekli bağlardan daha kısadır. İleride göreceğimiz gibi, daha kısa olan çoklu bağlar, tekli bağlardan daha karardır.

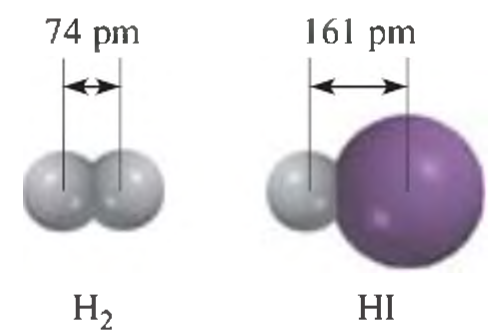
Kovalent ve İyonik Bileşiklerin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Bağ yapılarının farklılığı nedeniyle iyonik ve kovalent bileşiklerin genel fiziksel özellikleri belirgin şekilde farklıdır. Kovalent bileşiklerde iki tür çekim kuvveti vardır. Birinci kuvvet atomları molekülde bir arada tutar. Bu çekimin nicel ölçüsü Kısım 9.10'da tartışıldığı gibi, bağ enerjisiyle verilir. İkinci çekim kuvveti moleküller arasında etkindir ve *moleküller arası kuvvet* olarak bilinir. Moleküller arası kuvvetler, molekülde atomları bir arada tutan kuvvetlerle karşılaştırıldığında oldukça zayıf olduğundan, kovalent bir bileşiğin molekülleri birbiri ile sıkı bir şekilde bir arada tutulmaz. Dolayısıyla kovalent bileşikler genellikle gaz, sıvı ya da düşük erime noktalı katılardır. Diğer taraftan, iyonik bir bileşikte iyonları bir arada tutan elektrostatik kuvvetler çok güçlüdür. Dolayısıyla iyonik bileşikler oda sıcaklığında katıdır ve yüksek erime noktasına sahiptir. Birçok iyonik bileşik suda çözünür ve eğer iyonik bileşikler güçlü elektrolit ise çözeltileri elektriği iyi elektriği iletir. Çoğu kovalent bileşik suda çözünmez ya da çözünse bile elektrolit olmadığından sulu çözeltileri genellikle elektriği iletmez. Eriyik halindeki iyonik bileşikler, hareketli katyon ve anyon içerdiklerinden elektriği iletirler. Sıvı ya da erimiş kovalent bileşikler, iyonları olmadığından elektriği iletmezler. Çizelge 9.3'de tipik bir iyonik bileşik olan sodyum klorürün bazı genel özellikleri, kovalent bir bileşik olan karbon tetraklorür (CCl_4) ile karşılaştırılmıştır.

Animasyon
İyonik bağa karşı kovalent bağ

Animasyon
İyonik ve kovalent bağ

Eğer moleküller arası kuvvetler zayıfsa, katılardan sıvıları ve sıvılardan gazları oluşturmak için molekül birimlerini birbirinden ayırmak oldukça kolaydır.



Şekil 9.3 H_2 ve HI 'da bağ uzunluğu (pm).

Çizelge 9.2

Bazı Tekli, İkili ve Üçlü Bağların Ortalama Bağ Uzunlukları.

Bağ Türü	Bağ Uzunluğu (pm)
C—H	107
C—O	143
C=O	121
C—C	154
C=C	133
C≡C	120
C—N	143
C=N	138
C≡N	116
N—O	136
N=O	122
O—H	96

Çizelge 9.3

Bir İyonik ve Bir Kovalent Bileşiğin Bazı Genel Özelliklerinin Karşılaştırılması

Özellik	NaCl	CCl ₄
Görünüm	Beyaz katı	Renksiz sıvı
Erime noktası (°C)	801	–23
Molar erime ısısı* (kJ/mol)	30,2	2,5
Kaynama noktası (°C)	1413	76,5
Molar buharlaşma ısısı* (kJ/mol)	600	30
Yoğunluk (g/cm ³)	2,17	1,59
Suda çöünürlük	Yüksek	Çok düşük
Elektriksel iletkenlik:		
Katı	Zayıf	Zayıf
Sıvı	İyi	Zayıf

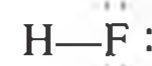
*Molar erime ısısı ve molar buharlaşma ısısı, sırasıyla 1 mol katıyı eritmek ve 1 mol sıvıyı buharlaştırmak için gerekli ısı miktarıdır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Kovalent bileşiklerde, hidrojen için ikili ya da üçlü bağlar oluşturmak neden mümkün değildir?

9.5 Elektonegatiflik

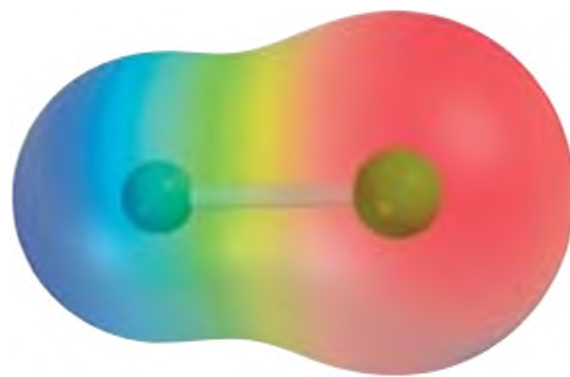
Daha önce söylediğimiz gibi kovalent bağ, bir elektron çiftinin iki atom tarafından paylaşılmasıdır. H₂ gibi, atomları aynı olan bir molekülde elektronların eşit paylaşılması, yani elektronların her bir atom etrafında aynı oranda zaman geçirmesini bekleriz. Bununla birlikte kovalent bağla bağlı HF molekülünde, H ve F atomları bağ elektronlarını eşit olarak paylaşmaz. Çünkü H ve F farklı atomlardır.



HF'deki bağa, **polar kovalent bağ** ya da kısaca **polar bağ** denir. Çünkü *elektronlar bir atomun etrafında diğerinden daha çok zaman geçirirler*. Deneysel veriler HF molekülündeki elektronların F atomu yakınında daha fazla zaman geçirdiğini göstermiştir. Bu eşit olmayan elektron paylaşımını, kısmî elektron aktarımı ya da daha bilinen tanımıyla, elektron yoğunluğunun H'den F'a kayması olarak düşünebiliriz (Şekil 9.4). Bağ elektron çiftinin bu eşit olmayan paylaşımı flor atomu civarında yüksek, hidrojen atomu civarında ise düşük elektron yoğunluğuna neden olur. HF bağı ve diğer polar bağlar, elektronların tamamen eşit bir şekilde paylaşıldığı kovalent bağ (apolar) ile *elektron aktarımının hemen hemen tamamı olduğu iyonik bağ* arasında bir bağ gibi düşünülebilir.

Apolar bir kovalent bağı, polar bir kovalent bağdan ayırt etmemize yardımcı olacak özellik, *bir atomun kimyasal bir bağdaki elektronları kendine çekme yeteneğinin bir ölçüsü olan elektonegatifliktir*. Elektonegatifliği yüksek olan elementler, elektonegatifliği düşük olan elementlere göre elektronları daha fazla kendilerine çekme eğilimindedirler. Beklediğimiz gibi elektonegatiflik, elektron ilgisi ve iyonlaşma enerjisiyle ilgilidir. Buna göre, yüksek elektron ilgisi (elektronları kolaylıkla alma eği-

Hidrojen florür 19,8°C'de kaynayan açık ve dumanlı bir sıvıdır. Hidroflorik asit eldesinde ve soğutucuların yapımında kullanılır.



Şekil 9.4 HF molekülünün elektostatik potansiyel haritası. Dağılım gökkuşağı renklerine göre değişir. Elektronca en zengin bölge kırmızı, en fakir bölge mavimsi

Artan elektronegativlik

Artan elektronegativlik

Artan elektronegativlik																		
1A												8A						
H 2.1	2A												3A	4A	5A	6A	7A	
Li 1.0	Be 1.5											B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0		
Na 0.9	Mg 1.2	3B	4B	5B	6B	7B	8B		1B	2B	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0			
K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.9	Ni 1.9	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8	Kr 3.0	
Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.4	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.2	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5	Xe 2.6	
Cs 0.7	Ba 0.9	La-Lu 1.0-1.2	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.9	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2		
Fr 0.7	Ra 0.9																	

Şekil 9.5 Çok bilinen elementlerin elektonegatiflikleri.

limi) ve yüksek iyonlaşma enerjisi (elektronları zor verme eğilimi) olan flor gibi bir atomun elektonegatifliği de yüksek olacaktır. Diğer taraftan, sodyum düşük elektron ilgisi, düşük iyonlaşma enerjisi ve dolayısıyla düşük elektonegatifliğe sahiptir.

Elektonegatiflik göreceli bir kavramdır ve bir elementin elektonegatifliği sadece diğer elementlerin elektonegatifliğine bağlı olarak ölçülebilir. Linus Pauling¹, birçok elementin *göreceli* elektonegatifliğinin hesaplanması için bir yöntem geliştirdi. Bu değerler Şekil 9.5’de verilmiştir. Bu çizelge dikkatlice incelenirse farklı elementlerin elektonegatiflik değerleri arasındaki ilişki görülebilir. Genelde, periyodik çizelgede, bir periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe elementlerin metal özellikleri azalırken, elektonegatiflikleri artar. Gruplarda ise atom numarası ve metal özellikleri artarken elektonegatiflik azalır. Geçiş metallerinin aynı eğilimleri göstermediklerine dikkat ediniz. Halojenler, oksijen, azot ve kükürt gibi en elektonegatif elementler periyodik çizelgenin sağ üst köşesinde, alkali ve toprak alkali metaller gibi en az elektonegatif olanlar ise sol alt köşesinde toplanmıştır. Bu eğilimler Şekil 9.6’daki grafikte kolaylıkla görülmektedir.

Elektonegatiflikleri oldukça farklı olan elementlerin atomları, NaCl ve CaO bileşiklerinde olduğu gibi, birbirleriyle iyonik bağ oluşturma eğilimindedirler. Çünkü daha az elektonegatif olan elementin atomu, daha fazla elektonegatif olan elementin atomuna elektron ya da elektronlar verir. Genellikle iyonik bağ, bir metal elementinin atomu ile bir ametal elementinin atomunun arasında olur. Birbirine yakın elektonegatiflikteki elementlerin atomları, elektron yoğunluğundaki kayma genellikle az olduğundan, birbirleriyle polar kovalent bağlar oluştururlar. Kovalent bağların çoğu ametal elementlerin atomları arasında meydana gelir. Sadece aynı elektonegatifliğe sahip aynı elementin atomları birbirleri ile tam kovalent bağ yaparlar. Bu eğilim ve özellikler iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisiyle bağlantılıdır.

Elektonegatiflik değerinin birimi yoktur.

¹Linus Carl Pauling (1901–1994). Amerikalı kimyacı. Birçok kişi tarafından yirminci yüzyılın en önemli kimyacıları olarak kabul gördü. Pauling, kimyadan moleküler biyoloji ve fiziğe kadar oldukça geniş bir alanda çalışmalar yaptı. Protein yapısı üzerine olan çalışmasıyla 1954’de kimya alanında Nobel Ödülünü ve 1962’de de Nobel Barış Ödülünü aldı. İki Nobel ödülü alan tek kişidir.

- (b) K ve F arasındaki elektonegatiflik farkı 3.2'dir ve bu değer 2.0'nin oldukça üzerindedir. Bu nedenle K ve F arasındaki bağ iyoniktir.
- (c) İki karbon atomu her bakımdan eşdeğerdir. Bu atomlar birbirine bağlıdır ve her birine üç hidrojen atomu bağlıdır. Bu nedenle iki karbon atomu arasındaki bağ tamamen kovalenttir.

Alıştırma Aşağıda verilen bağların hangisi kovalent, hangisi polar kovalent ve hangisi iyoniktir? (a) CsCl'deki bağ, (b) H₂S'deki bağ, (c) H₂NNH₂'deki NN bağı.

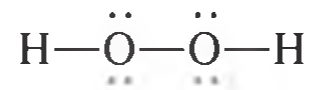
Berzer problemler: 9.39, 9.40.

Elektonegatiflik ve Yükseltgenme Basamağı

Bölüm 4'de, elementlerin bileşiklerindeki yükseltgenme basamağını belirlemek için bazı kurallar verdik. Elektonegatiflik kavramı, bu kuralların temelidir. Aslında yükseltgenme basamağı, bir molekülde elektronların bağlı olduğu atomlardan daha elektonegatif olan atomlara tamamıyla aktarılması durumunda atomun sahip olduğu yükün sayısıdır.

N atomunun H atomlarıyla üç tane tekli bağ oluşturduğu NH₃ molekülünü düşünelim. N atomu H'den çok daha elektonegatif olduğundan elektron yoğunluğu H'den N'a doğru kayacaktır. Eğer elektron aktarımı tam olarak gerçekleşirse, her bir H, bir elektronunu N atomuna verecek ve N atomunun toplam yükü -3, her bir H'in yükü ise +1 olacaktır. Bu nedenle, NH₃ molekülünde N atomunun yükseltgenme basamağını -3, H atomununkini ise +1 olarak belirleriz.

Oksijen atomu, hidrojen peroksit (H₂O₂) hariç, bileşiklerinde genellikle -2 yükseltgenme basamağına sahiptir. H₂O₂'in Lewis yapısı aşağıdaki gibidir.

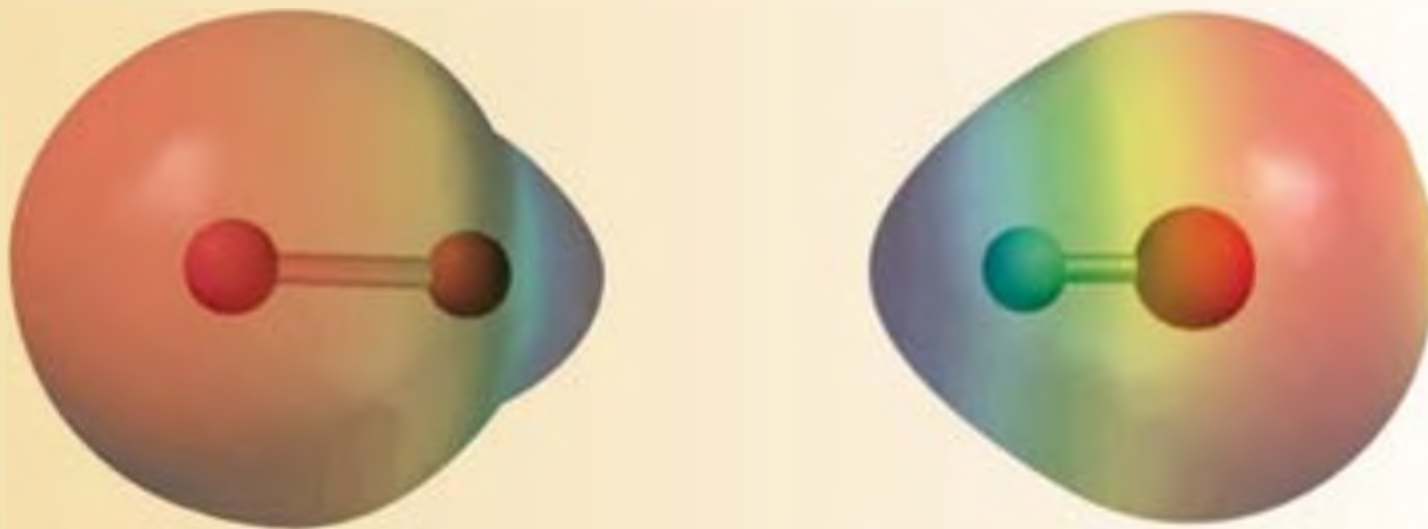


Eşdeğer atomlar arasındaki bağ, bağdaki elektron çifti *eşit* olarak paylaşıldığından bu atomların yükseltgenme basamağını etkilemez. Bu molekülde, H'nin yükseltgenme basamağı +1, her bir O'nın yükseltgenme basamağı ise -1'dir.

Şimdi florun neden daima -1 yükseltgenme basamağına sahip olduğunu görebiliyormusunuz? Çünkü flor bilinen en elektonegatif elementtir ve bileşiklerinde *daima* tekli bağ oluşturur. Bu nedenle flor, elektron aktarımı tamamlandığında daima -1 yük taşır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda HCl ve LiH için verilen elektrostatik potansiyel haritasını belirleyiniz. Her iki diyagramda da H atomu sol taraftadır.

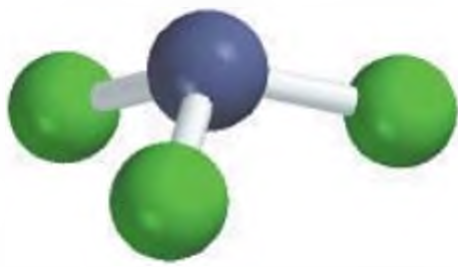


9.6 Lewis Yapılarının Yazılması

Oktet kuralı ve Lewis yapıları kovalent bağlanmayı her zaman tam olarak açıklamasa bile; moleküllerin özelliklerini, tepkimelerindeki davranışlarını ve birçok bileşikteki bağlanma şeklini açıklamakta oldukça başarılıdır. Bu nedenle, tecrübe kazanmak için bileşiklerin Lewis yapılarını sık sık yazarak öğrenmelisiniz. Lewis yapıları şu kural-lara göre yazılır:

1. Atomların simgelerini ve aralarındaki bağları yazıp bileşiğin iskelet yapısını oluşturunuz. Bu işlem basit bileşikler için oldukça kolaydır. Daha karmaşık bileşikler için ya bilgi verilmeli ya da bir tahmin yapmalıyız. Genellikle elektronegatifliği en az olan atom merkez atamdır. Lewis yapısında, hidrojen ve flor genellikle uç konumlara yerleşir.
2. Toplam değerlik elektronları sayısını belirleyiniz (gerekirse Şekil 9.1'den yararlanınız). Eğer çok atomlu anyonların toplam değerlik elektronları belirlenecekse, anyonun negatif yük sayısını da bu toplama ekleyiniz. (Örneğin, CO_3^{2-} iyonu için değerlik elektronların toplamına ilaveten anyonun yükü olan 2- için 2 elektron daha eklenir.) Çok atomlu katyonlarda ise atomların toplam değerlik elektronundan, katyonun pozitif yük sayısını çıkarınız (Örneğin, NH_4^+ için bir elektron çıkarırız. Çünkü 1+ yükü, bir elektronun kaybedildiğini gösterir).
3. Merkez atomu ve onu çevreleyen her bir atomı arasına tekli kovalent bağ çizersiniz. Merkez atoma bağlı atomların oktetlerini tamamlayınız (Hidrojen atomunun değerlik kabuğunun sadece iki elektronla tamamlandığını hatırlayınız). Merkez atomu ve onu çevreleyen atomlara ait elektronlar bağlanmada kullanılmamışsa, yalnız çiftler olarak gösterilmelidir. Kullanılacak elektronların toplam sayısı 2. basamakta belirlenen sayıdır.
4. 1-3 basamakları tamamlandıktan sonra, merkez atomu sekizden daha az elektrona sahipse, bu atomun oktetini tamamlamak için diğer atomların yalnız elektron çiftlerini kullanınız ve merkez atomu ile onu çevreleyen atomlar arasına ikili ya da üçlü bağlar ekleyiniz.

Lewis yapılarında hidrojen iki kuralına yani "düet" Kuralına uyar.



NF_3 renksiz, kokusuz ve etkin olmayan bir gazdır.

Örnek 9.3

Azot triflorürün (NF_3) Lewis yapısını yazınız. Üç F atomu da, N atomuna bağlıdır.

Çözüm Daha önce verilen Lewis yapısının yazılma kuralları izlenir.

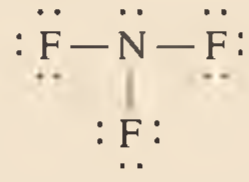
Adım 1. N atomu F atomundan daha az elektronegatifdir ve bu nedenle merkez atomu olmalıdır. O halde NF_3 'ün iskelet yapısı şu şekildedir:



Adım 2. N ve F'un dış kabuk elektron dağılımları sırasıyla; $2s^2 2p^3$ ve $2s^2 2p^5$ dir. Bu nedenle, NF_3 'ün $5 + (3 \times 7)$ yani 26 değerlik elektronu vardır.

(Devamı)

Adım 3: N ve F atomları arasında tekli birer kovalent bağ çizilir ve F atomlarının oktetleri tamamlanır. Kalan iki elektron N üzerine yerleştirilir:



Yukarıdaki yapıda tüm atomlar oktet kuralını sağladığından, Adım 4'e gerek kalmaz.

Kontrol NF_3 'deki değerlik elektronlarını (bağlardaki ve yalnız çiftlerdeki) saydığımızda, sonuç 26'dır. Başka bir deyişle, üç F atomundan ($3 \times 7 = 21$) ve bir N atomu 5 olmak üzere toplam değerlik elektronları 26 olur.

Alıştırma Karbon disülfürün (CS_2) Lewis yapısını yazınız.

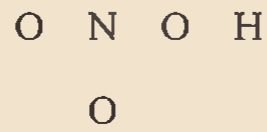
Benzer problem: 9.45.

Örnek 9.4

Nitrik asitin (HNO_3) Lewis yapısını yazınız. Nitrik asit yapısında, üç adet O atomu merkez N atomuna, iyonlaşabilen H atomu ise O atomlarından birine bağlıdır.

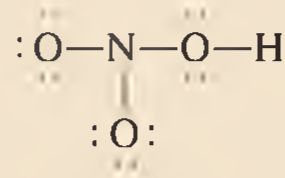
Çözüm Lewis yapısının yazılmasında verilen kuralları izleriz.

Adım 1: HNO_3 'ün iskelet yapısı şu şekildedir:

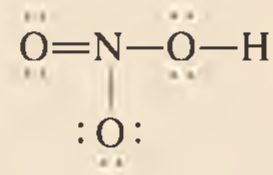


Adım 2: N, O ve H'nin değerlik kabuğundaki elektron dağılımları sırasıyla: $2s^22p^3$ ve $2s^22p^4$ ve $1s^1$ şeklindedir. Böylece, HNO_3 'de toplam $5 + (3 \times 6) + 1$ yani 24 değerlik elektronu vardır.

Adım 3: Her bir O atomu ile N atomu arasında ve bir O atomu ile H atomu arasında tekli kovalent bağ çizeriz. Daha sonra O atomlarının oktetlerini elektronlarla tamamlarız.

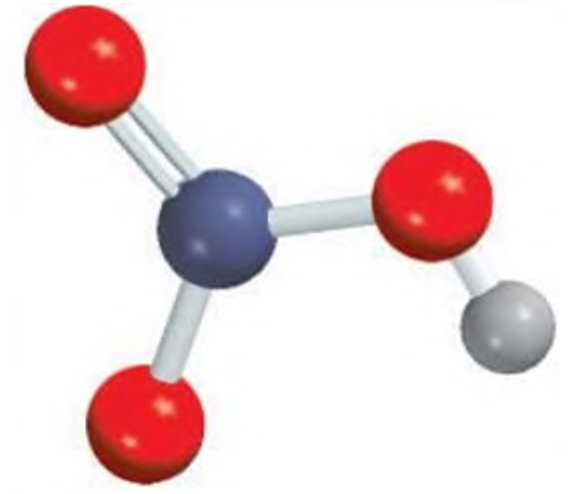


Adım 4: Bu yapıda tüm O atomlarının oktet kuralını sağladığını, ancak N atomunun sağlamadığını görüyoruz. N atomunun sadece altı elektronu vardır. Bu nedenle uçtaki O atomlarının birindeki bir yalnız elektron çifti, N atomuyla bir başka bağ oluşturmak için hareket ettirilir. Şimdi N atomu da oktet kuralını sağlamış oldu.



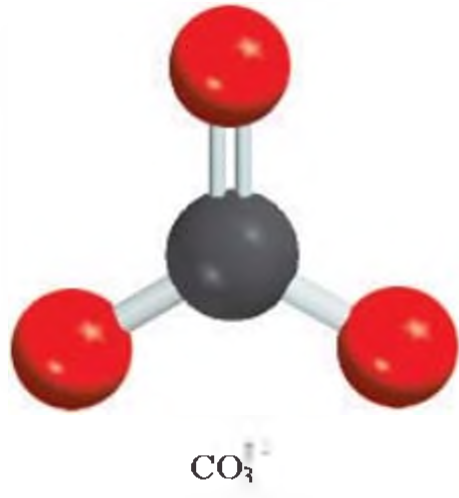
Kontrol Tüm atomların (H hariç) oktet kuralını sağladığından emin olunuz. HNO_3 'deki değerlik elektronlarını (bağlar ve yalnız çiftlerdeki) sayınız. O atomu $3 \times 6 = 18$, N atomu 5 ve bir H atomunun 1 olmak üzere, toplam değerlik elektron sayısı 24'dür.

Alıştırma Formik asitin (HCOOH) Lewis yapısını yazınız.



HNO_3 kuvvetli bir elektrolittir.

Benzer problem: 9.45.



-2 yükün tüm moleküle ait olduğunu göstermek için köşeli parantez kullanırız.

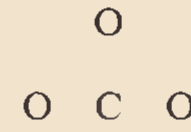
Benzer problem: 9.45.

Örnek 9.5

Karbonat iyonunun (CO_3^{2-}) Lewis yapısını yazınız.

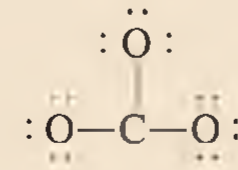
Çözüm Lewis yapısının yazılma kurallarını izleriz. Bu yapının anyon olduğuna ve iki negatif yük taşıdığına dikkat ediniz.

Adım 1: C atomu. O atomundan daha az elektronegatif olduğundan, karbonat iyonunun iskelet yapısını tahmin edebiliriz. Buna göre, C aşağıdaki gibi merkez konumdadır:



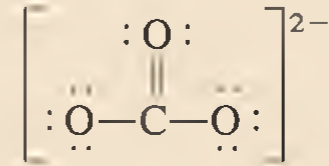
Adım 2: C ve O'nin değerlik kabuğundaki elektron dağılımları sırasıyla; $2s^2 2p^2$ ve $2s^2 2p^4$ olup karbonat iyonu iki negatif yüke sahiptir. Böylece toplam elektron sayısı $4 + (3 \times 6) + 2$ yani 24'tür

Adım 3: Her bir C ve O arasına tekli bir kovalent bağ çizeriz ve O atomlarının oktetlerini tamamlarız.



Bu yapı 24 elektronun tamamını göstermektedir.

Adım 4: Oktet kuralı O atomları için sağlanmasına rağmen, C atomları için sağlanmamıştır. Bu nedenle O atomlarından birindeki bir yalın elektron çifti, C ile başka bir bağ oluşturmak için hareket ettirilir. Buna göre, C atomu da oktet kuralını sağlar.

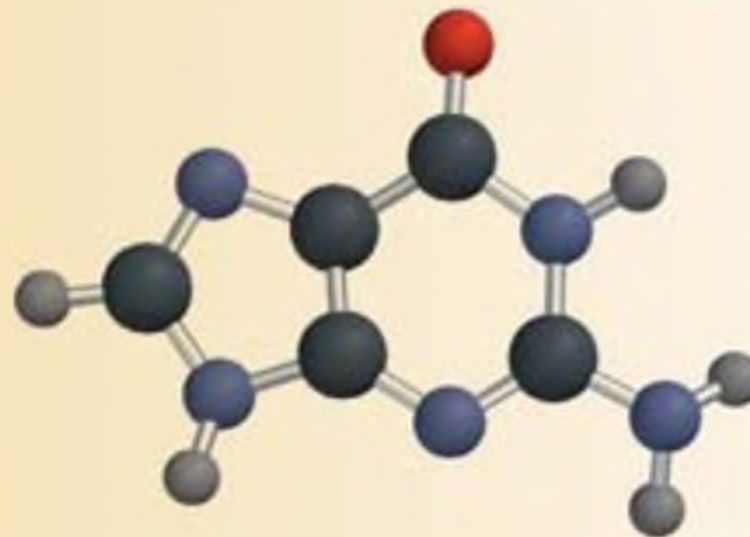


Kontrol Tüm atomların oktet kuralını sağladığından emin olunuz. CO_3^{2-} daki değerlik elektronlarını (kimyasal bağlar ve yalın çiftlerdeki) sayınız. Üç O atomundan ($3 \times 6 = 18$), bir C atomundan 4 değerlik elektronu ve $2-$ negatif yükten 2 olmak üzere, toplam değerlik elektronu 24'dür.

Alıştırma Nitrit iyonunun (NO_2) Lewis yapısını yazınız.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda DNA'nın bir bileşeni olan guaninin molekül modeli gösterilmiştir. Bu modelde sadece atomlar arasındaki bağlantılar gösterilmiştir. Molekülün, tüm çoklu bağlarını ve yalın elektron çiftlerini gösteren, tam Lewis yapısını çizin. (Renk kodları için son sayfaya bakınız.)



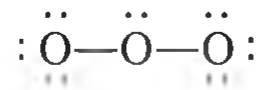
9.7 Formal Yük ve Lewis Yapısı

İzole bir atomun elektron sayısı ile aynı atomun Lewis yapısındaki elektron sayısını karşılaştırarak, moleküldeki elektron dağılımını belirleyebilir ve en uygun Lewis yapısını çizebiliriz. İzole bir atomdaki dış yörünge elektron sayısı, basitçe, değerlik elektronları ile aynıdır. (Bilindiği gibi iç kabuk elektronlarını göz önünde bulundurmamız gerekmez.) Bu atomun molekül içindeki elektron sayısı ise diğer atom ya da atomlarla yaptığı bağlardaki elektronlar ve kendi üzerindeki bağ yapmayan elektronların toplamıdır. Bununla birlikte, bir bağdaki elektronlar paylaşıldığı için, bağ elektronları iki atoma eşit olarak bölünmelidir. Bir atomun **formal yükü**, *izole atomdaki değerlik elektronları ile o atomun Lewis yapısındaki elektronlarının sayısı arasındaki elektriksel yük farkıdır*.

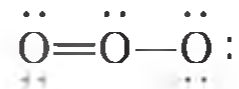
Lewis yapısındaki bir atomun elektron sayısını belirlemek için şu yolu izleriz:

- Atomların bağ yapmayan elektronlarının tamamı o atomun kendisine aittir.
- Atom ile diğer atom(lar) arasındaki bağı(ları) eşit olarak böldüğümüzde, bağ elektronlarının yarısı o atoma aittir.

Formal yük kavramını ozon molekülünü (O_3) üzerinde gösterelim. Bunun için Örnek 9.3 ve 9.4'de izlediğimiz yolu takip edelim. O_3 'ün iskelet yapısını çizelim ve iki uçtaki atomların oktetini tamamlamak için elektronlar ve bağlar ekleyelim.



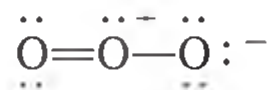
Gördüğümüz gibi, eldeki tüm elektronlar kullanılmasına rağmen, merkez atom için oktet kuralı sağlanamamıştır. Bunu düzeltmek için, uçtaki atomlardan birinin yalnız elektron çifti ile merkezdeki atoma ikinci bir bağ çizeriz.



Şimdi O_3 'da ki her bir atomun formal yükü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

		\ddot{O}	$=\ddot{O}$	$-\ddot{O}$:
		6	6	6	
Değerlik e^-		6	5	7	
Atoma ait e^-		6	5	7	
Fark (formal yük)		0	+1	-1	

Dalgalı kırmızı çizgiler kırılan bağları gösterir. Kırılan her tekli bağ, bağlı atomların her birine bir elektron, her ikili bağ iki elektron vb katkıda bulunur. Böylece, O_3 'daki atomların formal yükleri şu şekildedir:



Pozitif ve negatif yükler tek olduğunda, genellikle 1 sayısı yazılmaz.

Formal yükler yazılarken şu kurallardan yararlanır:

1. Molekül için formal yüklerin toplamı sıfır olmalıdır. Çünkü moleküller elektriksel olarak nötr türlerdir (Örneğin O_3 molekülü bu kurala uyar.)
2. Katyonlar için formal yüklerin toplamı pozitif yüke eşit olmalıdır. Anyonlar için formal yüklerin toplamı negatif yüke eşit olmalıdır.



Kaynama noktasının ($-111,3^\circ\text{C}$) altında sıvı ozon. Ozon, zehirli, keskin kokulu ve açık mavi renkte bir gazdır

Her bir atoma bağ elektronlarının yarısı kalır

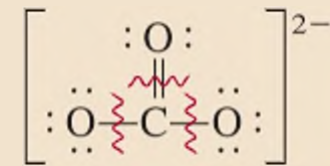
Formal yükleri belirlerken, bir iyon yada moleküldeki atom, değerlik elektronundan daha fazla elektrona sahip mi (negatif formal yük) veya atom değerlik elektronundan daha az elektrona sahip mi (pozitif formal yük), sorularını kendinize sorunuz.

Formal yüklerin bir moleküldeki değerlik elektronlarını takip etmemizi sağladığına ve yük dağılımını nitel olarak görmemize olanak tanıdığına dikkat ediniz. Formal yükleri, elektronların gerçekten de tamamen aktarımı şeklinde yorumlayamayız. Örneğin, O_3 molekülünde, deneysel çalışmalar merkez O atomunun kısmi pozitif yük uçtaki O atomlarının da kısmi negatif yük taşıdığını göstermiştir. Ancak elektronların bir atomdan diğerine tamamen aktarıldığına dair bir kanıt yoktur.

Örnek 9.6

Karbonat iyonundaki (CO_3^{2-}) formal yükleri yazınız.

İzlenecek Yol Karbonat iyonunun Lewis yapısı Örnek 9.5'de yazılmıştı.



Atomlar üzerindeki formal yükler, verilen kurallara göre hesaplanabilir.

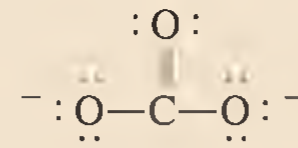
Çözüm Her bir atomun değerlik elektronlarından, bağ yapmayan elektronlar ile bağ elektronlarının yarısını çıkarırız.

C Atomu: C atomu dört değerlik elektronuna sahiptir ve Lewis yapısında bu atoma ait bağ yapmayan elektronlar yoktur. Bir ikili, iki tane de tekli bağın kırılması sonucu C'nin dört elektronu olur. Bu nedenle formal yük $4 - 4 = 0$ 'dır.

C=O deki O atomu: O atomu altı değerlik elektronuna sahiptir ve Lewis yapısında bu atoma ait bağ yapmayan dört elektron vardır. İkili bağın kırılmasıyla O atomuna iki elektron aktarılır. Sonuç olarak formal yük $6 - 4 - 2 = 0$ 'dır.

C-O deki O atomu: Bu atomun altı tane bağ yapmayan elektronu ve tekli bağın kırılmasıyla kazandığı bir elektronu vardır. Bu nedenle formal yük $6 - 6 - 1 = -1$.

Böylece formal yüklerle birlikte CO_3^{2-} iyonunun Lewis yapısı aşağıdaki gibidir.



Kontrol Formal yüklerin toplamının, karbonat iyonunun $2-$ yükü ile aynı olduğuna dikkat ediniz.

Alıştırma Nitrit iyonunun (NO_2^-) formal yüklerini gösteriniz.

Benzer problem: 9.46.

Bazen verilen bir tür için birden fazla mantıklı Lewis yapısı yazılabilir. Bu gibi durumlarda, formal yükleri ve aşağıdaki yol gösterici açıklamaları kullanarak, en uygun Lewis yapısını seçebiliriz.

- Molekülün formal yük içermeyen Lewis yapısı, formal yük içerene tercih edilir.
- Büyük formal yüklü (+2, +3, vb ya da -2, -3 vb) Lewis yapıları, düşük formal yüklülere göre daha az tercih edilir.
- Benzer formal yük dağılımlı Lewis yapıları arasında en kabul edilebilir yapı, negatif formal yükün, elektronegatifliği daha büyük olan atomlar üzerinde olduğu yapıdır.

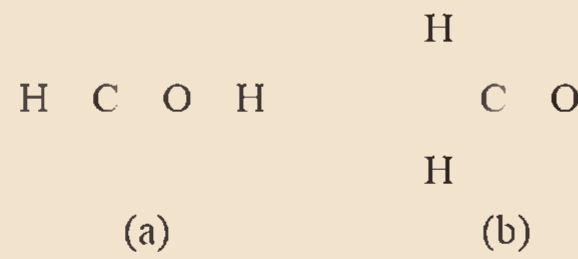
Bir molekül için doğru Lewis yapısının seçilmesinde formal yüklerin nasıl belirleyici olduğu Örnek 9.7’de gösterilmektedir.

Örnek 9.7

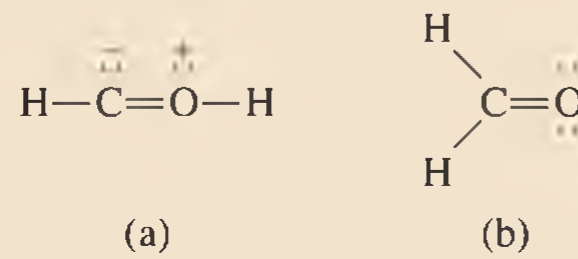
Formaldehit (CH_2O) kötü kokulu bir sıvıdır ve genelde laboratuvar örneklerinin saklanması için kullanılır. Formaldehit bileşiğinin en uygun Lewis yapısını çizin.

İzlenecek Yol Uygun bir Lewis yapısı için H atomu hariç tüm elementler oktet kuralını sağlamalıdır. Formal yükleri varsa, atomların elektronegatifliklerine uygun olarak dağılmış olmalıdır.

Çözüm Bileşiğin mümkün olabilecek iki iskelet yapısı aşağıdaki gibidir:



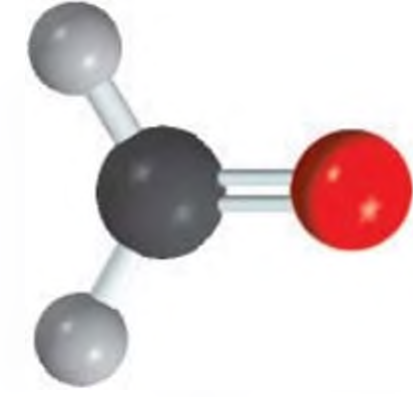
Öncelikle her iki olasılık için Lewis yapıları çizeriz.



Formal yükleri bulmak için Örnek 9.6’da verilen yolu izleriz. (a) yapısında C atomunun toplam beş elektronu (bir yalın çift ve buna ek olarak bir tekli ve bir ikili bağın kırılmasından gelen üç elektron) vardır. C’nin dört değerlik elektronu olduğundan, bu atom üzerindeki formal yük $4 - 5 = -1$ ’dir. O atomunun toplam beş elektronu vardır (bir yalın çift ile bir tekli ve bir ikili bağın kırılmasından gelen üç elektron). O atomunun değerlik elektronu altı olduğundan, atom üzerindeki formal yük $6 - 5 = +1$ ’dir. (b) yapısında, C atomunun iki tekli bağ ve bir ikili bağın kırılmasından gelen toplam dört elektronu vardır. Dolayısıyla formal yükü $4 - 4 = 0$ ’dır. O atomunun toplam altı elektronu (iki yalın çift ile ikili bağın kırılmasından gelen iki elektron) vardır. Bu nedenle atom üzerindeki formal yük $6 - 6 = 0$ ’dır. Her iki yapı da (a ve b) oktet kuralına uymasına karşın, formal yük taşımayan (b) yapısı daha uygundur.

Kontrol Her iki yapıda da toplam değerlik elektronları sayısının 12 olduğundan emin olunuz. (a) yapısının niçin daha uygun olmadığıyla ilgili başka iki neden daha öneriniz?

Alıştırma Bir N, bir C ve bir H atomundan oluşan bir molekülün en uygun Lewis yapısını çizin.



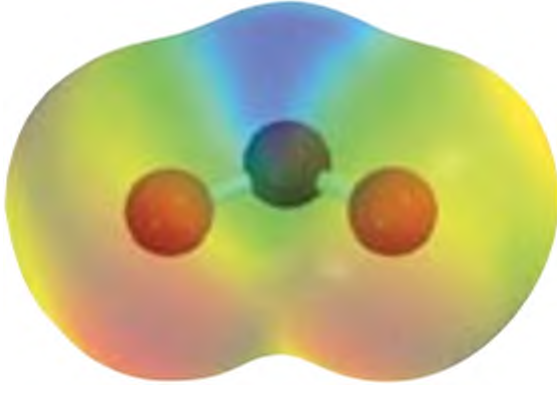
CH_2O

Benzer problem: 9.47.

Kavramların Değerlendirilmesi

Siyanamid (CH_2N_2) için olası üç ayrı atom düzenlenmesinin olduğunu varsayınız. (a) H_2CNN , (b) H_2NCN , (c) HNNCH . Formal yükleri kullanarak hangisinin en mantıklı yapı olduğunu belirleyiniz.

9.8 Rezonans Kavramı



O_3 için elektrostatik potansiyel haritası. Elektron yoğunluğu uçtaki iki O atomu arasında düzgün bir şekilde dağılmıştır

Animasyon
Rezonans

Ozon (O_3) için çizdiğimiz Lewis yapısında merkez atomu oktet kuralını sağlamaktadır. Çünkü merkezdeki O atomu ile iki uçtaki O atomlarından birisi arasında bir ikili bağ yerleştirmiştik. Aslında, aşağıdaki iki eşdeğer Lewis yapısında gösterildiği gibi, ikili baği molekülün herhangi bir ucuna yerleştirebiliriz.



Ancak bu iki Lewis yapısından hiç birisi, O_3 molekülünde normalde var olması gereken bağ uzunluklarını açıklamaz.

İkili bağlar tekli bağlardan daha kısa olduğundan, O_3 molekülünde O–O bağının O=O bağından daha uzun olması beklenir. Halbuki, deneysel veriler ozondaki her iki oksijen-oksijen bağının birbirine eşit olduğunu (128pm) göstermektedir. Bu gerçeği, ozon molekülünün her iki Lewis yapısını da yazarak açıklayabiliriz.

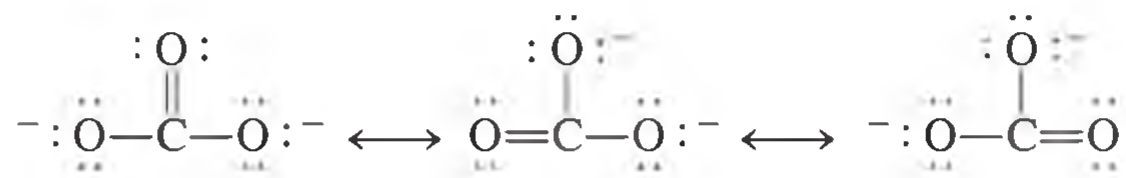


Bu yapıların her birine rezonans yapısı denir. O halde bir **rezonans yapı**, tam olarak tek bir Lewis yapısıyla gösterilemeyen bir molekülün, iki ya da daha fazla sayıdaki Lewis yapılarından birisidir. İki uçlu ok, yapıların rezonans yapıları olduğunu göstermek için kullanılır.

Rezonans terimi, bir molekülü göstermek için iki ya da daha fazla sayıdaki Lewis yapılarının kullanılması demektir. Afrika'ya giden ortaçağ Avrupa gezgini, gergedanı gördüğünde sanki tek boynuzlu bir at, yarısı aslan- yarısı kartal sanki bir ejderhanın melezi diye tanımlamıştır. Biz de onun gibi gerçek ozon molekülünü, yazılan her iki yapısı da tek başına var olmayan, ancak bilinen, bir molekül olarak tanımlarız.

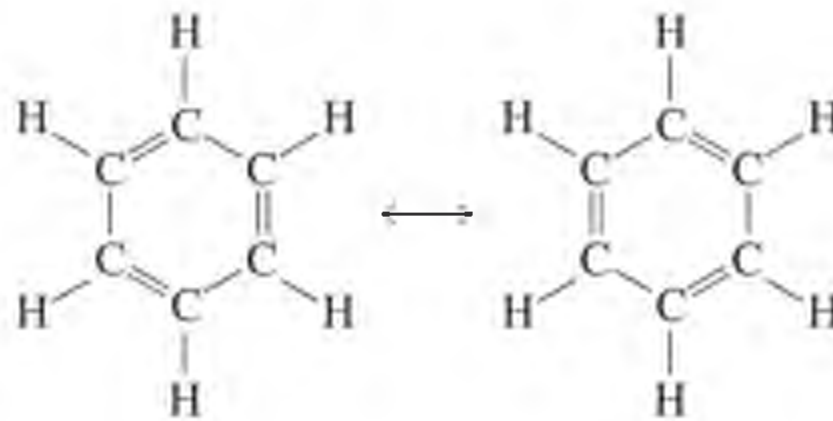
Rezonans hakkındaki genel yanlış anlama şudur: ozon gibi bir molekülün bir rezonans yapısından diğerine ileri ve geri yönde hızlı bir şekilde dönüştüğü sanılır. Hiçbir rezonans yapının, gerçek molekülü ve kararlı yapıyı tam olarak gösteremeyeceğini unutmayınız. "Rezonans", bağlanma modellerindeki eksikleri telafi etmek için, insanlar tarafından tasarlanmış bir gösterim şeklidir. Yukarıdaki hayvanlarla ilgili benzetmeyi hatırlarsak gergedan, ejderha ve at arasında bir canlı değil, farklı bir yaratıktır.

Rezonansa bir başka örnek de karbonat iyonudur:



Deneysel bilgilere göre, CO_3^{2-} iyonundaki tüm karbon-oksijen bağları birbirine eşittir. Bu nedenle karbonat iyonunun özellikleri en iyi şekilde olası tüm rezonans yapıları göz önüne alınarak açıklanır.

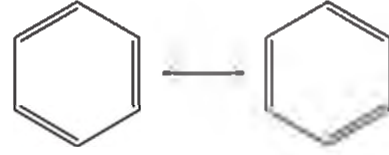
Rezonans kavramı organik moleküller için de geçerlidir. Benzen molekülü (C_6H_6) buna en iyi örnektir:



Benzenin altıgen yapısı ilk kez Alman kimyacı August Kekule tarafından önerilmiştir. (1829-1896).

Eğer bu rezonans yapılarından sadece birisi benzenin gerçek yapısını gösterseydi, komşu C atomları arasında biri tekli diğeri ikili bağa karşılık gelen iki farklı bağ uzunluğu olacaktı. Gerçekte tüm C atomları arasındaki mesafe, C—C tekli bağından kısa (154 pm), C=C ikili bağından (133 pm) uzundur ve 140 pm dir.

Benzen molekülünün ve diğer benzen halkası içeren bileşiklerin yapısını çizmek için daha basit bir yol, karbon ve hidrojen atomları olmadan yalnızca iskelet yapısını göstermektir. Bu şekilde gösterilebilen benzenin rezonans yapıları aşağıdaki gibidir:



Altıgen yapının köşelerindeki C atomlarının ve onlara bağlı H atomlarının gösterilmediğine dikkat ediniz. Yalnızca C atomları arasındaki bağlar gösterilmiştir.

Rezonans yapılarını çizerken, şu önemli kuralı hatırlayınız: Farklı rezonans yapılarında, bağlardaki elektronların (atomlardaki değil) konumları değişebilir. Başka bir deyişle, yazılan tüm rezonans yapılarında atomlar birbirlerine aynı düzende bağlı olmalıdır.

Şu ana kadarki örneklerde gösterilen rezonans yapıları, iyon ve moleküllerin gerçek yapılarına eşit şekilde katkıda bulunmaktadır. Örnek 9.8’de göreceğimiz gibi bu her zaman olan bir durum değildir.

Örnek 9.8

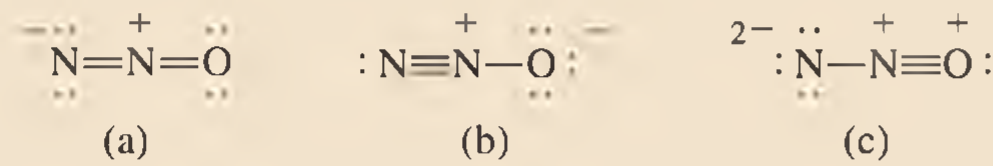
Atom düzenlenmesi NNO şeklinde olan azot oksit (N_2O) molekülü için üç rezonans yapısı çizin. Formal yükleri gösteriniz. Yapıları, bağıl önemlerine göre sıralayınız.

İzlenecek Yol N_2O ’ın iskelet yapısı aşağıdaki gibidir.



Lewis yapılarının çizilmesi ve formal yüklerin hesaplanması için daha yapılan Örnek 9.5 ve 9.6’daki işlemleri takip ederiz.

Çözüm Üç rezonans yapısı şu şekildedir:



Yukarıda formal yükleri gösteren üç yapıyı görmekteyiz. Negatif formal yükü daha elektronegatif olan oksijen atomunda bulundurduğundan (b) yapısı en önemli yapıdır. Formal yükler oldukça büyük olduğundan bunlar içinde en az öneme sahip yapı (c) yapısıdır. Hatta öyleki, bu yapıda pozitif formal yük daha elektronegatif olan oksijen atomu üzerindedir.

Kontrol Her üç yapıda, atomların konumlarında bir değişiklik olmadığından emin olunuz. N beş, O altı değerlik elektronuna sahip olduğundan değerlik elektronlarının toplam sayısı $5 \times 2 + 6 = 16$ ’dır. Her bir yapıda formal yüklerin toplamı sıfırdır.

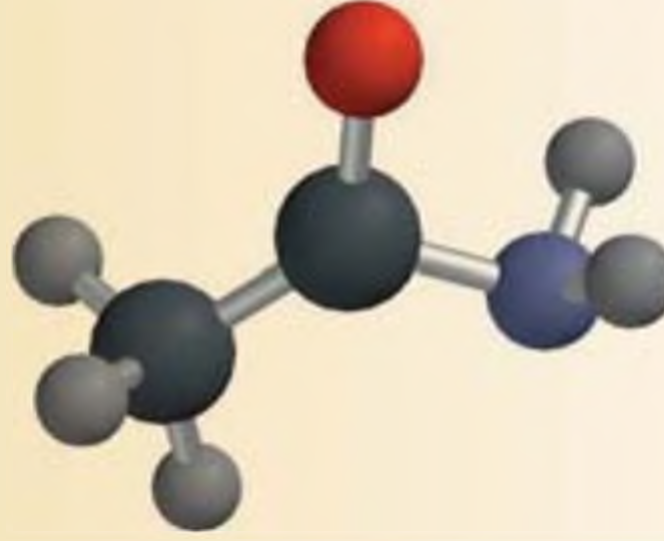
Alıştırma Tiyosiyonat iyonu (SCN^-) için üç rezonans yapısı çizin. Yapıları azalan önem sırasına göre sıralayınız.

Genellikle +2 ve -2’den daha büyük formal yükleri içeren rezonans yapılar oldukça mantıksız olarak değerlendirilir ve atılır.

Benzer problemler: 9.51, 9.56.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki molekül modeli, organik bir çözücü olarak kullanılan asetonu göstermektedir. Bu modelde sadece atomlar arasındaki bağlantılar gösterilmiştir. Molekül için çoklu bağların yerlerini ve formal yükleri gösteren iki rezonans yapısı çizin. (Renk kodları için kitabın son sayfasına bakınız.)



9.9 Oktet Kuralından Sapmalar

Daha önce de belirtildiği gibi, oktet kuralı aslında ikinci periyot elementleri için geçerlidir. Oktet kuralından sapmalar üç başlıkta incelenebilir; eksik oktetli türler, tek elektron sayılı türler ve merkez atom çevresinde sekizden çok değerlik elektronu bulunan genişlemiş oktetli türler.



Berilyum diğer 2A Grubu elementlerinden farklıdır. BeH_2 'de olduğu gibi, çoğunlukla kovalent bileşikler oluşturur.

Eksik Oktet

Bazı bileşiklerde, kararlı bir molekülün merkez atomunu çevreleyen elektronların sayısı sekizden azdır. Örneğin ikinci periyot 2A Grubu elementi olan berilyumu ele alalım. Berilyumun elektron dağılımı $1s^2 2s^2$ şeklindedir ve 2s orbitalinde iki değerlik elektronu vardır. Berilyum hidrür (BeH_2) gaz fazında ayrı ayrı moleküller halinde bulunur. BeH_2 'ün Lewis yapısı aşağıdaki gibidir:

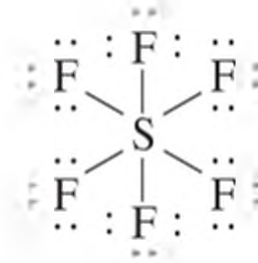


Gördüğümüz gibi, Be atomunun çevresinde yalnızca dört elektron vardır ve berilyumun bu molekülde oktet kuralını sağlaması mümkün değildir.

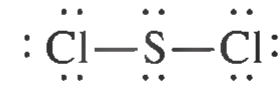
Aynı şekilde 3A Grubundaki elementler de, özellikle bor ve alüminyum, sekizden daha az elektronla çevrelendikleri bileşikler oluşturma eğilimindedirler. Bor elementini ele alırsak, borun elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^1$ dir ve toplam üç değerlik elektronu vardır. Bor, halojenlerle genel formülü BX_3 olan (X halojen atomu) bileşikler oluşturur. Örneğin, bor triflorürde, bor atomu çevresinde yalnızca altı elektron vardır.



ronun bulunduğu bazı kararlı bileşikler oluştururlar. Üçüncü periyot elementleri 3s ve 3p orbitallerine ek olarak, bağlanmada kullanabileceği 3d orbitallerine de sahiptirler. Bu orbitaller bir atomun *genişlemiş oktet* oluşturmaya neden olur. Kükürt hekzaflorür genişlemiş oktet içeren bir bileşiktir ve çok karardır. Kükürdün elektron dağılımı $[\text{Ne}]3s^23p^4$ dir. SF_6 molekülünde, kükürdün altı değerlik elektronunun her biri flor atomuyla kovalent bağ oluşturur. Dolayısıyla merkez kükürt atomu çevresinde 12 elektron vardır, yani oktetini aşmıştır.

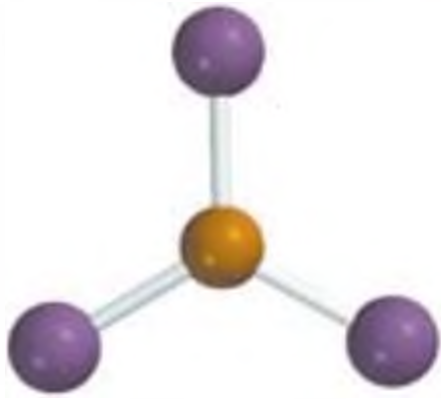


Bölüm 10'da, bu 12 elektronun (veya altı bağlayıcı çiftin) bir 3s, üç 3p ve iki 3d olmak üzere toplam altı orbitale yerleştirildiğini yani sp^3d^2 melezleşmesini göreceğiz. Kükürt atomu, oktet kuralına uyan birçok bileşik de oluşturur. Örneğin kükürt diklorürde, S sekiz elektronla çevrelenmiştir.



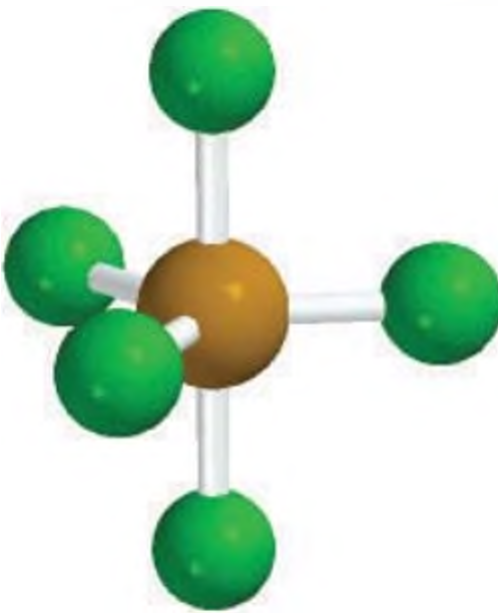
Örnek 9.9 – 9.11 oktet kuralına uymayan bileşiklerle ilgilidir.

Kükürt diklorür, zehirli, kötü kokulu ve kırmızı renkli bir sıvıdır (Kaynama noktası: 59°C).



AlI_3 dimerleşme, yani Al_2I_6 gibi ikili birimler oluşturma eğilimindedir.

Berzer problem: 9.62.



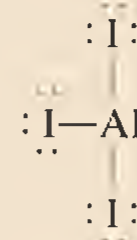
PF_5 kimyasal olarak etkin bir gazdır.

Örnek 9.9

Aluminyum triiyodürün (AlI_3) Lewis yapısını çiziniz.

İzlenecek Yol Lewis yapısını çizmek ve formal yükleri hesaplamak için Örnek 9.5 ve 9.6'da verilen yolları izleriz.

Çözüm Al ve I'nın dış kabuk elektron dağılımları sırasıyla: $3s^23p^1$ ve $5s^25p^5$ şeklindedir. Toplam değerlik elektronları sayısı $3 + 3 \times 7$ yani 24'tür. Al atomu I'dan daha az elektronegatif olduğundan merkez atom olarak yerleşir ve I atomlarıyla üç tane bağ oluşturur.



Al ve I atomları üzerinde formal yük olmadığına dikkat ediniz.

Kontrol I atomları oktet kuralını sağlamasına karşın, Al atomu çevresinde sadece altı değerlik elektronu vardır. Bu nedenle AlI_3 eksik oktete bir örnektir.

Alıştırma BeF_2 'un Lewis yapısını çiziniz.

Örnek 9.10

Fosfor pentaflorürün (PF_5) Lewis yapısını çiziniz. Beş F atomu merkez P atomuna bağlıdır.

İzlenecek Yol P'un üçüncü periyot elementti olduğunu unutmayınız. Lewis yapısını çizmek ve formal yükleri hesaplamak için Örnek 9.5 ve 9.6'da verilen yolları izleriz.

(Devamı)

Çözüm P ve F'un dış kabuk elektron dağılımları sırasıyla: $3s^23p^3$ ve $2s^22p^5$ dir ve toplam değerlik elektronları sayısı $5 + (5 \times 7)$ yani 40'dır. Fosfor da kükürt gibi üçüncü periyot elementidir ve bu yüzden genişlemiş oktete sahip olabilir. PF_5 'ün Lewis yapısı şöyledir:



P ve F atomlarının formal yüklerinin olmadığına dikkat ediniz.

Kontrol F atomları oktet kuralını sağlamasına karşın, P atomu, çevresindeki 10 değerlik elektronuyla genişlemiş oktete sahiptir.

Alıştırma Arsenik pentaflortürün (AsF_5) Lewis yapısını çiziniz

Berzer problem: 9.64.

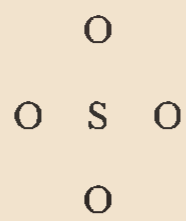
Örnek 9.11

Sülfat iyonunun (SO_4^{2-}) Lewis yapısını çiziniz. Tüm O atomları merkez S atomuna bağlıdır.

İzlenecek Yol S atomunun üçüncü periyot elementidir olduğuna dikkat ediniz. Lewis yapısını çizmek ve formal yükleri hesaplamak için Örnek 9.5 ve 9.6'da verilen yolları izleriz.

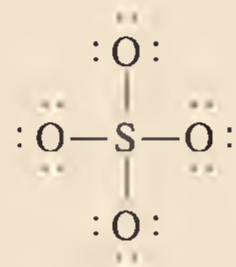
Çözüm S ve O'nin dış kabuk elektron dağılımları sırasıyla: $3s^23p^4$ ve $2s^22p^4$ dir.

Adım 1. SO_4^{2-} iyonunun iskelet yapısı:

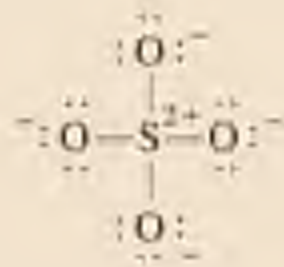


Adım 2: S ve O atomlarının her ikisi de 6A grubu elementleridir ve altışar değerlik elektronları vardır. SO_4^{2-} iyonunda iki negatif yükü de hesaba katarsak değerlik elektronlarının toplam sayısı $6 + (4 \times 6) + 2$ yani 32'dir.

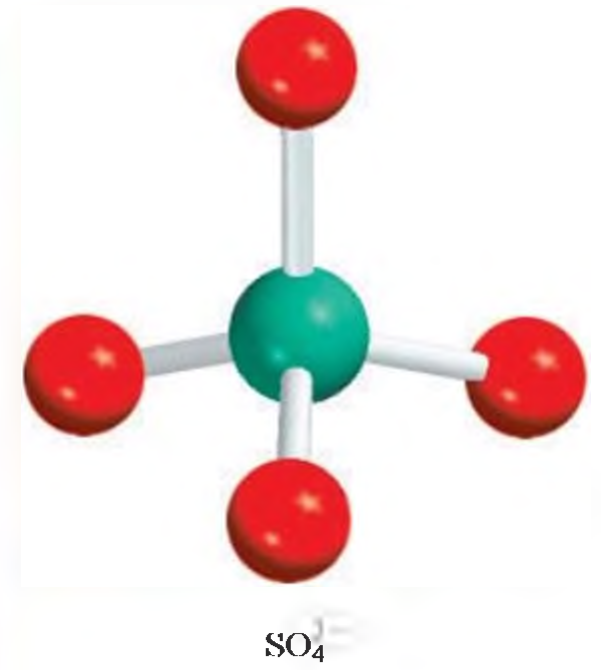
Adım 3. Tüm bağlı atomlar arasına tekli kovalent bağ çizeriz



Daha sonra S ve O atomları üzerindeki formal yükleri gösteririz.

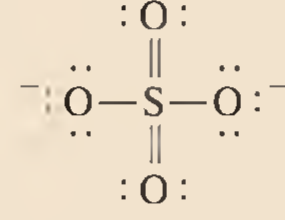


(Devamı)

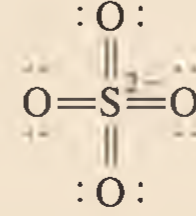


Bu yapının SO_4^{2-} in altı eşdeğer yapısından sadece birisi olduğunu unutmayınız.

Aşağıda gösterildiği gibi, S atomunun oktetini genişleterek, SO_4^{2-} yapısındaki formal yüklerin bir kısmını yok edebiliriz.



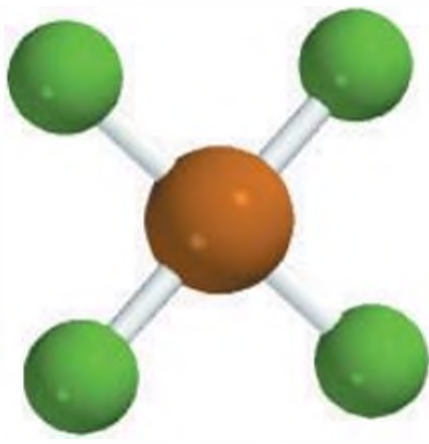
S atomunun oktet kuralına uyduğu ancak fazla sayıda formal yük taşıdığı birinci yapı ile, S atomunun oktetinin genişlediği ancak daha az sayıda formal yük içeren ikinci yapıdan, hangisinin daha kararlı olduğu sorusu kimyacılar arasında tartışma konusu olmuştur. Ayrıntılı kuantum mekanik hesaplamalar bu soruya net bir cevap verebilir. Ancak buraya kadar öğrendiklerinizle, her iki gösteriminde geçerli birer Lewis yapısı olduğunu bilmeli ve yapıların her ikisini de çizebilmelisiniz. Merkezi atomun oktetini genişleterek formal yükleri azaltmaya çalışırken, merkezi atomun formal yükünü sıfır yapmaya yetecek sayıda ikili bağ ekleyiniz. Aşağıdaki yapıda olduğu gibi, S ve O atomlarının elektronegatiflikleriyle uyuşmayacak şekilde, formal yükler içeren, S atomunun -2 ve O atomunun sıfır olduğu yapı SO_4^{2-} iyonunu göstermek için kullanılmamalıdır.



Berzer problem: 9.85.

Alıştırma Sülfirik asitin (H_2SO_4) uygun Lewis yapılarını çizin.

Genişlemiş oktetle ilgili son bir hatırlatma: Bazen üçüncü periyot ve sonrasındaki element atomlarının merkez olduğu bileşiklerde Lewis yapılarını çizerken, tüm atomlar oktet kuralını sağlamasına rağmen hala yerleştirilecek değerlik elektronları olduğunu görürüz. Bu gibi durumlarda, fazla elektronlar merkez atom üzerine yalnız elektron çiftleri olarak yerleştirilmelidir. Örnek 9.12 bunu açıklamaktadır.



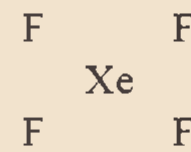
XeF_4

Örnek 9.12

Bir soy gaz bileşiği olan ksenon tetraflorürün (XeF_4) Lewis yapısını çizin. Tüm F atomları merkez Xe atomuna bağlıdır.

İzlenecek Yol Xe'nun beşinci periyot elementi olduğuna dikkat ediniz. Lewis yapısını çizmek ve formal yükleri hesaplamak için Örnek 9.5 ve 9.6'da verilen yolları izleriz.

Çözüm Adım 1: XeF_4 'ün iskelet yapısı:



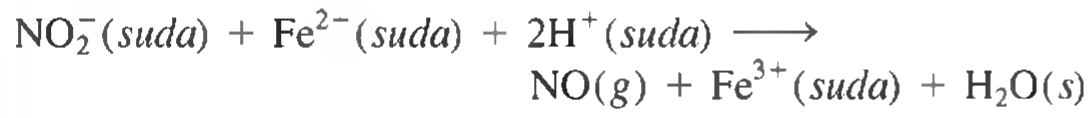
Adım 2. Xe ve F'un dış kabuk elektron dağılımları sırasıyla; $5s^25p^6$ ve $2s^22p^5$ dir.

Toplam değerlik elektronları sayısı $8 + (4 \times 7)$ yani 36'dır.

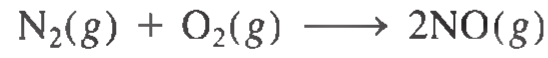
(Devamı)

Nitrik Oksit (NO)

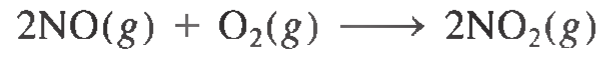
Nitrik oksit (NO) en basit azot oksittir ve eşleşmemiş tek-elektron taşıyan bir molekül olduğundan paramanyetiktir. Kaynama noktası -152°C ve renksiz bir gaz olan NO, laboratuvarı sodyum nitritin (NaNO_2) asidik ortamda Fe^{2+} gibi bir indirgenle tepkimesinden elde edilebilir:



Nitrik oksitin çevresel kaynağı, azot bileşiklerini içeren fosil yakıtların yanması ve otomobil motorlarında yüksek sıcaklıklarda azot ve oksijen arasındaki tepkimedir:



Şimşek çakması da NO'nun atmosferdeki miktarına etki eder. Hava ile etkileşen nitrik oksit hemen kahverengi azot dioksit gazını oluşturur:



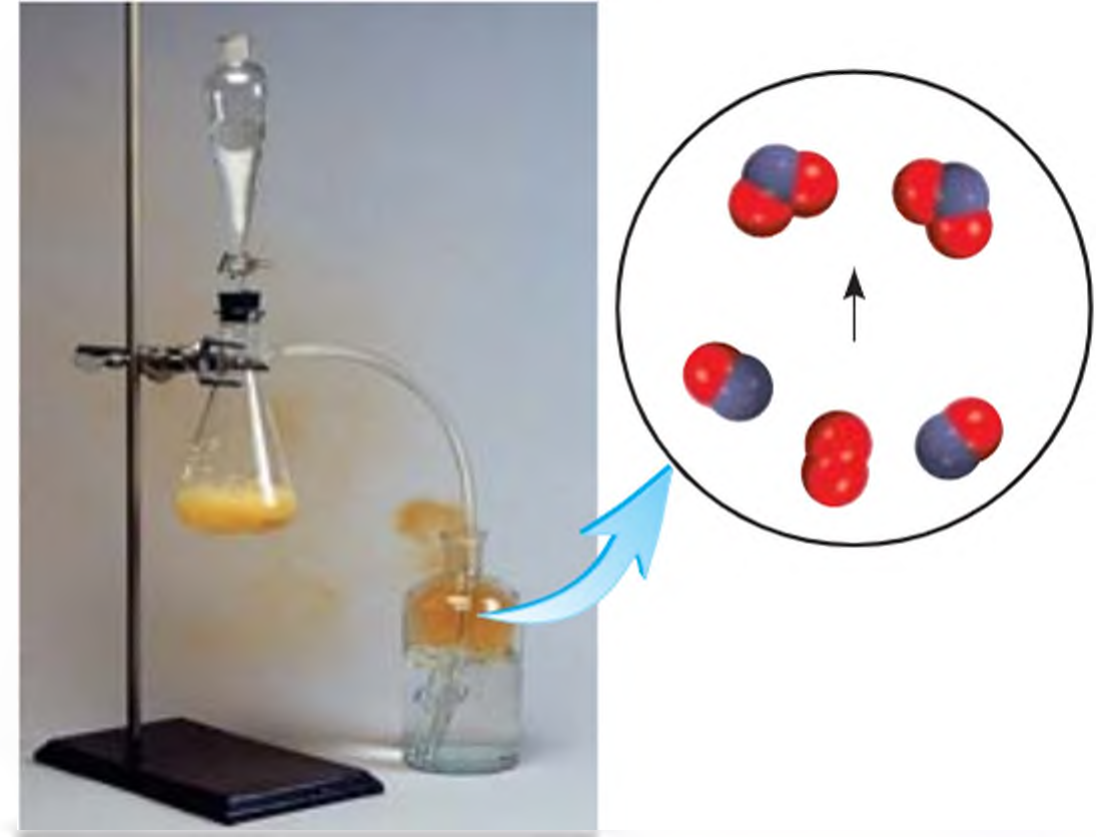
Azot dioksit dumanlı sisin önemli bir bileşenidir.

Yaklaşık 40 yıl önce, kas gevşetici üzerine çalışan bilim insanları vücudumuzun nörotransmitter olarak kullanılmak üzere nitrik oksit ürettiğini buldular. Bir *nörotransmitter*, hücreden hücreye iletişim hizmetini sağlayan küçük bir moleküldür. O yıldan bu yana, vücudun farklı kısımlarında en azından bir düzine hücre türü ortaya çıkarıldı. Nitrik oksit beyinde, karaciğerde, pankreasta, mide ve barsak sisteminde ve kan damarlarındaki hücrelerde sentezlenebilir. Bu molekül, zararlı bakterileri öldürmek için hücrel toksin olarak da işlev yapar. Hepsi bu kadar değildir. 1966'da NO'nun kanda oksijen taşıyan bir protein olan hemoglobine bağlandığı belirlendi. NO'nun kan basıncını düzenlemeye yardımcı olduğu şüphesizdir.

Nitrik oksitin biyolojik öneminin keşfi, nitrogliserinin ($\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9$) bir ilaç olarak nasıl işlev gördüğü konusuna da ışık tuttu. Kalp hastalarına, uzun yıllar boyunca nasıl etki ettiği anlaşılmamasına rağmen kalbe kan akışındaki düzensizliğin neden olduğu ağrıları dindirmek amacıyla nitrogliserin tabletleri verildi. Günümüzde nitrogliserinin, kasların gevşemesine ve ar-

terlerin genişlemesine neden olan nitrik oksiti oluşturduğunu bilmekteyiz. Bu bağlamda, dinamitin [nitrogliserin ve kullanmadan önce patlayıcıyı kararlı hale getirmek için kullanılan kil karışımı] mucidi olan ve adına ödüller verilen Alfred Nobel'in bir kalp hastası olduğu, ağrıları dindirmek için doktorların az bir miktar nitrogliserin alması gerektiği yönündeki tavsiyelerini reddettiği, üzerinde durulması gereken ilginç bir durumdur.

NO molekülünü taşıyıcı veya haberci bir molekül olarak düşünmek oldukça mantıklıdır. Nitrik oksit küçük bir moleküldür ve bu nedenle hücreden hücreye kolaylıkla geçebilir. Kararlıdır ancak belirli koşullar altında oldukça reaktiftir. Bu durum onun koruyucu işlevini açıklamaktadır. Kas gevşemesini sağlayan enzim demir içerir. Bu demir, nitrik oksit oksit için bir çekim merkezidir. NO molekülünün demire bağlanması bu enzimi aktif hale getirir. Aslında, hücre içerisinde biyolojik etkinlik gösteren moleküller genellikle çok büyük moleküller olup, bilinen en küçük moleküllerden biri olan NO'nun böyle bir yaygın etki göstermesi benzeri görülmemiş bir durumu oluşturmaktadır.



Renksiz nitrik oksit, asidik ortamda sodyum nitrit çözeltisi üzerine Fe^{2+} etkisiyle elde edilir. Su içinden kabarcıklar halinde geçirilen nitrik oksit gazı hava ile etkileştiğinde, oksijen ile hemen tepkimeye girerek kahverengi NO_2 gazını oluşturur.

Adım 3: Tüm bağlı atomlar arasına tekli kovalent bağ çizeriz. Her birinde üç yalın elektron çifti olan F atomları oktet kuralını sağlar. Dört F atomu üzerindeki yalın elektron çiftleri (4×6) ve bağlayıcı çiftler (4×2) toplamı 32'dir. Bu nedenle geriye kalan dört elektron Xe atomu üzerinde iki yalın elektron çifti olarak gösterilir.



Buna göre, Xe atomunun genişlemiş oktetini gösterdik. Xe ve F atomlarının formal yükleri yoktur.

Benzer problem: 9.63.

Alıştırma Kükürt tetraflorürün (SF_4) Lewis yapısını çizin.

Unutmayınızki, bir bağın kırılması enerji gerektiren bir işlem iken oluşturulması ise enerji açığa çıkaran bir işlemdir.

9.10 Bağ Enerjisi

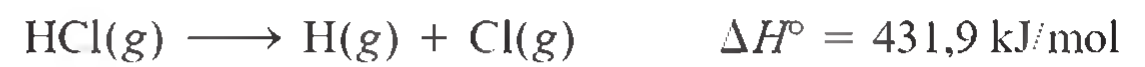
Bağ enerjisi bir molekülün kararlılığının ölçüsüdür. Bu enerji, *gaz halindeki 1 mol gaz moleküllerinin, belirli bir bağın kırmak için gerekli olan entalpi değişimidir.* (Katılar ve sıvılardaki bağ enerjileri komşu moleküller tarafından etkilenir.) Örneğin, iki atomlu hidrojen molekülünün deneysel olarak belirlenen bağ enerjisi şöyledir:



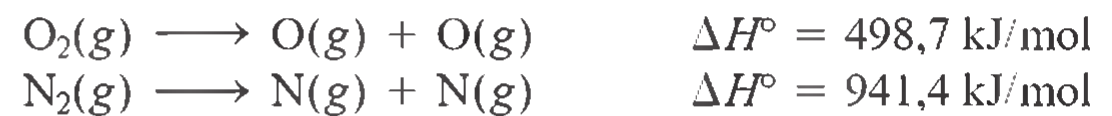
Bu eşitlik bize, gaz halindeki 1 mol H_2 moleküllerindeki kovalent bağları kırmak için 436,4 kJ enerji gerektiğini söyler. Daha az kararlı olan klor molekülünün bağ enerjisi ise şöyledir:



HCl gibi farklı element içeren iki atomlu moleküllerin bağ enerjileri, doğrudan ölçülebilir.

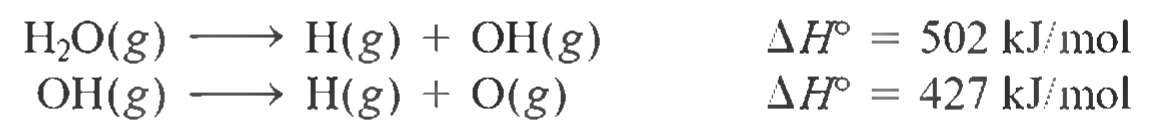


Aynı şekilde, ikili ve üçlü bağlar içeren moleküller için de bu enerjiler ölçülebilir:



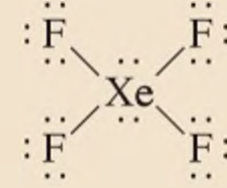
O_2 nin Lewis yapısı $\text{O}=\text{O}$ ve N_2 nin Lewis yapısı $\text{N} \equiv \text{N}$ 'dir.

Çok atomlu moleküllerdeki kovalent bağların kuvvetini ölçmek daha karmaşıktır. Örneğin, H_2O daki ilk O—H bağını kırmak için gerekli olan enerji, ikinci O—H bağını kırmak için gerekli olan enerjiden farklıdır:



Su molekülünde sonuçta her iki O—H bağı kırılır; ancak ilk bağın kırılması ikincisinden daha endotermiktir. İki ΔH° değeri arasındaki fark, kimyasal çevredeki değişim nedeniyle ikinci O—H bağının değişime uğradığını göstermektedir.

Adım 3: Tüm bağlı atomlar arasına tekli kovalent bağ çizeriz. Her birinde üç yalın elektron çifti olan F atomları oktet kuralını sağlar. Dört F atomu üzerindeki yalın elektron çiftleri (4×6) ve bağlayıcı çiftler (4×2) toplamı 32'dir. Bu nedenle geriye kalan dört elektron Xe atomu üzerinde iki yalın elektron çifti olarak gösterilir.



Buna göre, Xe atomunun genişlemiş oktetini olduğunu görürüz. Xe ve F atomlarının formal yükleri yoktur.

Benzer problem: 9.63.

Alıştırma Kükürt tetraflorürün (SF_4) Lewis yapısını çiziniz.

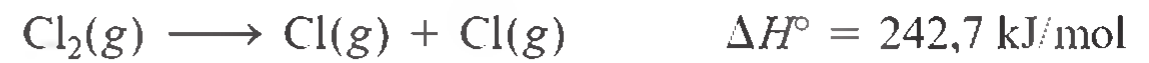
Unutmayınızki, bir bağın kırılması enerji gerektiren bir işlem iken oluşturulması ise enerji açığa çıkaran bir işlemdir.

9.10 Bağ Enerjisi

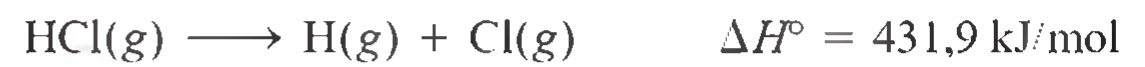
Bağ enerjisi bir molekülün kararlılığının ölçüsüdür. Bu enerji, *gaz halindeki 1 mol gaz moleküllerinin, belirli bir bağın kırmak için gerekli olan entalpi değişimidir.* (Katılar ve sıvılardaki bağ enerjileri komşu moleküller tarafından etkilenir.) Örneğin, iki atomlu hidrojen molekülünün deneysel olarak belirlenen bağ enerjisi şöyledir:



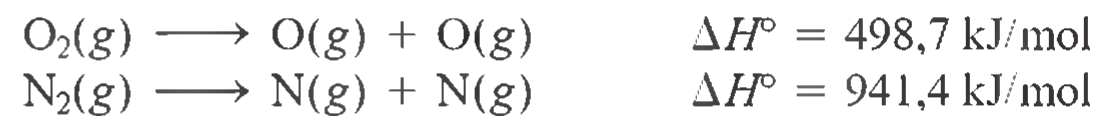
Bu eşitlik bize, gaz halindeki 1 mol H_2 moleküllerindeki kovalent bağları kırmak için 436,4 kJ enerji gerektiğini söyler. Daha az kararlı olan klor molekülünün bağ enerjisi ise şöyledir:



HCl gibi farklı element içeren iki atomlu moleküllerin bağ enerjileri, doğrudan ölçülebilir.

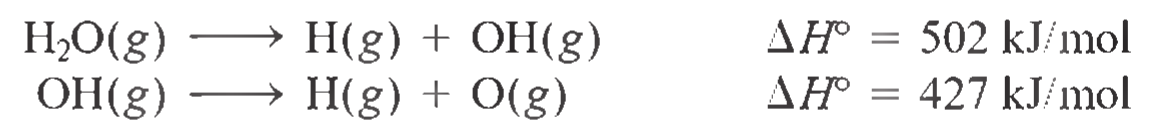


Aynı şekilde, ikili ve üçlü bağlar içeren moleküller için de bu enerjiler ölçülebilir:



O_2 nin Lewis yapısı $\text{O}=\text{O}$ ve N_2 nin Lewis yapısı $\text{N} \equiv \text{N}$ 'dir.

Çok atomlu moleküllerdeki kovalent bağların kuvvetini ölçmek daha karmaşıktır. Örneğin, H_2O daki ilk O—H bağını kırmak için gerekli olan enerji, ikinci O—H bağını kırmak için gerekli olan enerjiden farklıdır:



Su molekülünde sonuçta her iki O—H bağı kırılır; ancak ilk bağın kırılması ikincisinden daha endotermiktir. İki ΔH° değeri arasındaki fark, kimyasal çevredeki değişim nedeniyle ikinci O—H bağının değişime uğradığını göstermektedir.

Çizelge 9.4

Bazı İki Atomlu Moleküllerin Bağ Enerjileri* ve Çok Atomlu Moleküllerdeki Bağların Ortalama Bağ Enerjileri

Bağ	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Bağ	Bağ enerjisi (kJ/mol)
H—H	436,4	C—I	240
H—N	393	C—P	263
H—O	460	C—S	255
H—S	368	C=S	477
H—P	326	N—N	193
H—F	568,2	N=N	418
H—Cl	431,9	N≡N	941,4
H—Br	366,1	N—O	176
H—I	298,3	N=O	607
C—H	414	O—O	142
C—C	347	O=O	498,7
C=C	620	O—P	502
C≡C	812	O=S	469
C—N	276	P—P	197
C=N	615	P=P	489
C≡N	891	S—S	268
C—O	351	S=S	352
C=O ¹	745	F—F	156,9
C≡O	1076,5	Cl—Cl	242,7
C—F	450	Br—Br	192,5
C—Cl	338	I—I	151,0
C—Br	276		

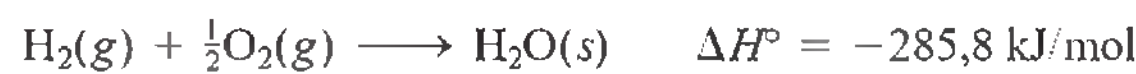
*İki atomlu moleküllerin bağ enerjileri (renkli), çok atomlu moleküllerdeki bağların bağ enerjilerinden daha anlamlı rakamlarla verilmiştir. Çünkü iki atomlu moleküllerin bağ enerjileri doğrudan ölçülebilirken, çok atomlu moleküllerdeki bağlar ortalama değerlerdir.

¹CO₂'de C=O bağ enerjisi 799 kJ/mol.

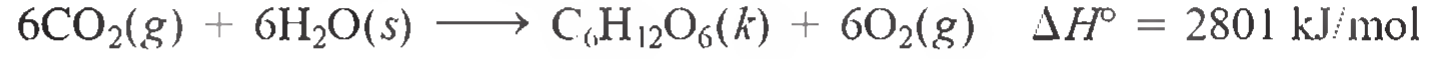
Sonuç olarak, metanol (CH₃OH) ve su (H₂O) gibi iki farklı molekülün O—H bağ enerjilerinin neden aynı olamayacağını anlayabiliriz. Çünkü bu bağların çevreleri farklıdır. Bu nedenle, çok atomlu moleküllerde belirli bir bağın bağ enerjisi için *ortalama* bağ enerjisinden söz edilir. Örneğin, birbirinden farklı 10 tane çok atomlu molekülde O—H bağ enerjisini ölçebiliriz ve bağ enerjilerinin toplamını 10'a bölerek ortalama bir O—H bağ enerjisi elde edebiliriz. Çok sayıda iki ve çok atomlu molekülün ortalama bağ enerjileri Çizelge 9.4'de verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, üçlü bağlar ikili bağlardan ve doğal olarak tekli bağlardan daha kuvvetlidir.

Bağ Entalpilerinin Termokimyada Kullanımı

Birkaç tepkimenin termokimyasal değişimlerinin karşılaştırılmasıyla (Bölüm 6), farklı tepkimelerin entalpilerinin de dikkate değer bir değişim olduğu görülür. Örneğin, hidrojen gazının oksijen ile yanması oldukça ekzotermiktir:



Diğer yandan, fotosentez yoluyla su ve karbon dioksitten glukoz ($C_6H_{12}O_6$) oluşumu tepkimesi oldukça endotermiktir:



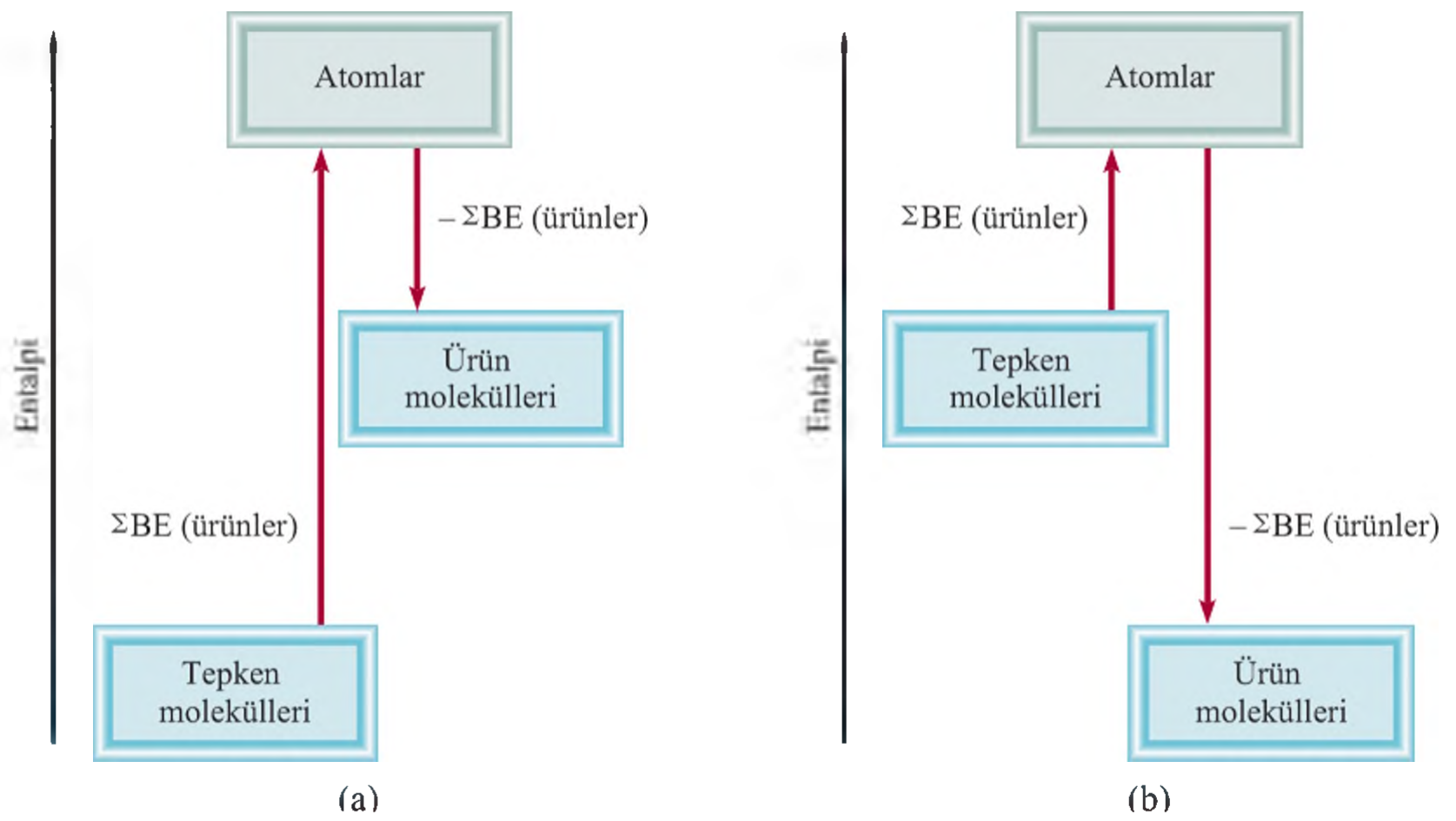
Bu farklılığı, tepken ve ürün moleküllerinin kararlılıklarına tek tek bakarak açıklayabiliriz. Birçok kimyasal tepkime bağların oluşumunu ve kırılmasını içerir. Bu nedenle, bağ entalpilerinin ve dolayısıyla moleküllerin kararlılıklarının bilinmesi tepkimelerin termokimyasal özellikleri hakkında bize bir şeyler söyler.

Çoğu kez tepkimelerin entalpisini, ortalama bağ enerjilerini kullanarak tahmin etmek mümkündür. Çünkü kimyasal bağların kırılması daima enerji gerektirir. Kimyasal bağ oluşumu ise daima enerji açığa çıkarır. Buna göre, tepkimede oluşan ve kırılan bağların toplam sayısını ve bunlara karşılık gelen tüm enerji değişimlerini belirleyerek, tepkimenin entalpisini bulabiliriz. *Gaz fazındaki* tepkimenin entalpi değişimi şu eşitlikle verilir:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \sum BE(\text{tepkenler}) - \sum BE(\text{ürünler}) \\ &= \text{giren toplam enerji} - \text{açığa çıkan toplam enerji} \end{aligned} \quad (9.3)$$

Burada BE ortalama bağ enerjisi, \sum toplam işaretidir. Eşitlik (9.3) yazıldığı haliyle ΔH° nın işaretini belirler. Eğer giren toplam enerji, açığa çıkan toplam enerjiden daha büyükse, ΔH° pozitifdir ve tepkime endotermiktir. Diğer taraftan, soğutulandan daha fazla enerji açığa çıkarsa, ΔH° negatifdir ve tepkime ekzotermiktir (Şekil 9.8). Eğer tepkenler ve ürünlerin tamamı iki atomlu moleküllerse, iki atomlu moleküllerin bağ enerjileri tam olarak bilindiğinden Eşitlik (9.3) gerçek sonuçları verecektir. Diğer yandan, tepkenler ve ürünlerin bir kısmı ya da tamamı çok atomlu moleküllerse, kullanılan bağ enerjileri ortalama değerler olacağından, Eşitlik (9.3) yaklaşık sonuçlar verecektir.

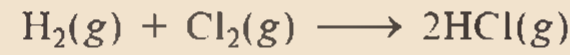
Şekil 9.8 (a) Endotermik bir tepkimede bağ entalpi değişimleri. (b) Ekzotermik bir tepkimede bağ entalpi değişimleri



İki atomlu moleküller için Eşitlik 9.3, Eşitlik 6.18'e eşdeğerdir. Dolayısıyla, bu iki eşitlikten elde edilen sonuçlar Örnek 9.13'de gösterildiği gibi karşılaştırılabilir.

Örnek 9.13

Eşitlik 9.3'ü kullanarak aşağıdaki tepkimenin entalpisini hesaplayınız. Sonucumuzu Eşitlik 6.18'den elde edilen ile karşılaştırmamız.



İzlenecek Yol Bağ kırılmasının enerji soğuran yani endotermik, bağ oluşumunun ise enerji açığa çıkaran yani ekzotermik işlemler olduğunu unutmayınız. Buna göre net enerji değişimi, Eşitlik 9.3'de tanımlandığı gibi bu iki karşıt işlem arasındaki farktır.

Çözüm Kırılan ve oluşan bağları sayıp bunlara karşılık gelen enerji değişimlerini belirleyerek işleme başlarız. Bunu yapmak için en iyi yol bir çizelge oluşturmaktır.

Kırılan bağ türü	Kırılan bağ sayısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Enerji değişimi (kJ/mol)
H—H (H ₂)	1	436,4	436,4
Cl—Cl (Cl ₂)	1	242,7	242,7
Oluşan bağ türü	Oluşan bağ sayısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Enerji değişimi (kJ/mol)
H—Cl (HCl)	2	431,9	863,8

Daha sonra toplam enerji girişini ve toplam enerji çıkışını hesaplarız.

$$\begin{aligned} \text{toplam enerji girişi} &= 436,4 \text{ kJ/mol} + 242,7 \text{ kJ/mol} = 679,1 \text{ kJ/mol} \\ \text{toplam enerji çıkışı} &= 863,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Eşitlik (9.3) ü kullanarak:

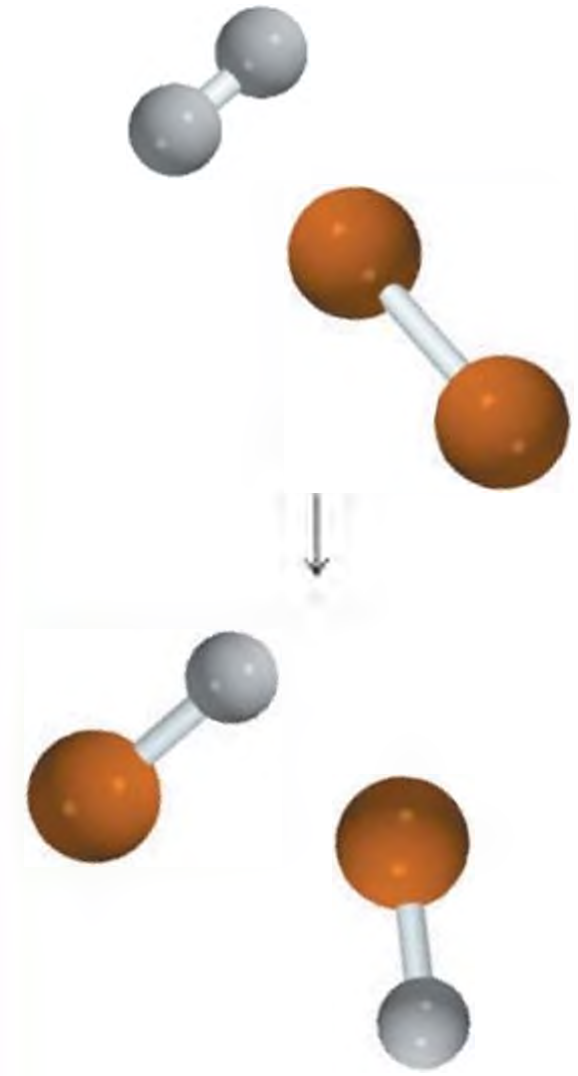
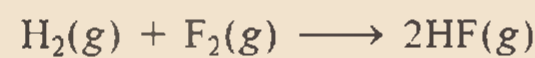
$$\Delta H^\circ = 679,1 \text{ kJ/mol} - 863,8 \text{ kJ/mol} = -184,7 \text{ kJ/mol}$$

Bu tepkime entalpisini hesaplamak için seçenek olarak, Ek 3'deki verileri ve Eşitlik 6.18'i de kullanabiliriz:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= 2\Delta H_{\text{ol}}^\circ(\text{HCl}) - [\Delta H_{\text{ol}}^\circ(\text{H}_2) + \Delta H_{\text{ol}}^\circ(\text{Cl}_2)] \\ &= (2)(-92,3 \text{ kJ/mol}) - 0 - 0 \\ &= -184,6 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Kontrol Tepkenler ve ürünlerin hepsi iki atomlu moleküller olduğundan Eşitlik 9.3 ile elde edilen sonucu Eşitlik 6.18 ile aynı olması beklenen bir sonuçtur. Buradaki küçük fark, yuvarlama tekniklerinden kaynaklanmaktadır.

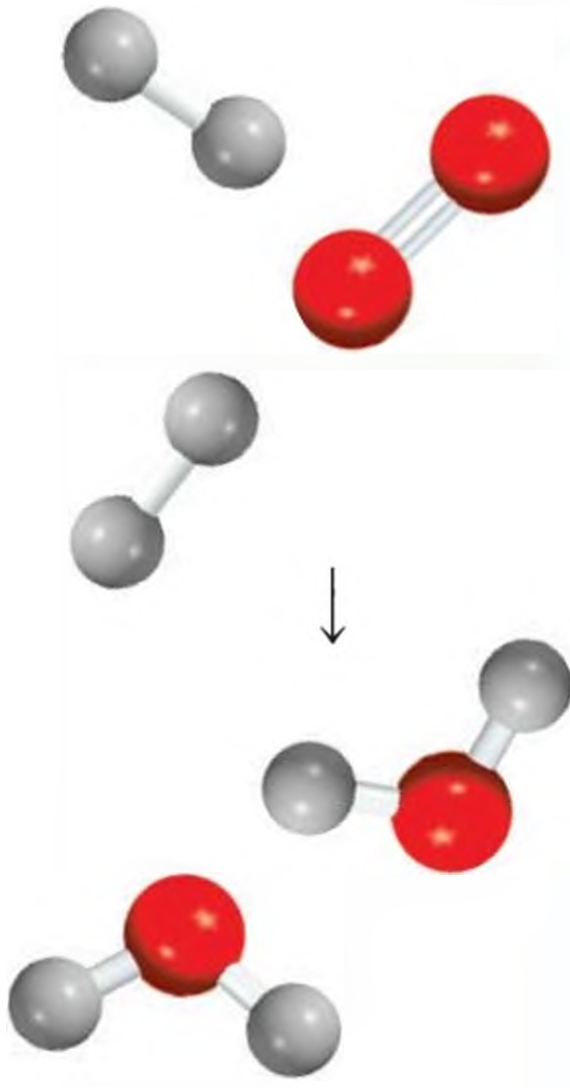
Alıştırma Eşitlik 9.3'ü ve Eşitlik 6.18'ü kullanarak aşağıdaki tepkime entalpisini hesaplayınız.



Bu iki atomlu moleküllerin bağ enerjileri için Çizelge 9.4'e başvurunuz

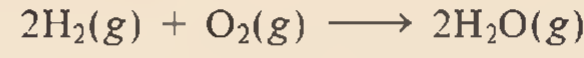
Benzer problem: 9.104.

Örnek 9.14'de, çok atomlu bir molekül içeren bir tepkimenin entalpisini hesaplamak için Eşitlik 9.3 kullanılmaktadır.



Örnek 9.14

Hidrojen gazının yanma tepkimesi için entalpi değişimini bulunuz.



İzlenecek Yol Esas olarak Örnek 9.13'deki yolun aynısını takip edebiliriz. H_2O 'un çok atomlu bir molekül olduğuna ve bu nedenle O—H bağı için ortalama bağ enerjisini kullanmamız gerektiğine dikkat ediniz.

Çözüm Önce, aşağıdaki çizelgeyi oluşturalım:

Kırılan bağ türü	Kırılan bağ sayısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Enerji değişimi (kJ/mol)
H—H (H_2)	2	436,4	872,8
O=O (O_2)	1	498,7	498,7
Oluşan bağ türü	Oluşan bağ sayısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Enerji değişimi (kJ/mol)
(H_2O)	4	460	1840

Bu bilgilerden giren ve açığa çıkan toplam enerji değerlerini elde ederiz:

$$\begin{aligned} \text{giren toplam enerji} &= 872,8 \text{ kJ/mol} + 498,7 \text{ kJ/mol} = 1371,5 \text{ kJ/mol} \\ \text{açığa çıkan toplam enerji} &= 1840 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Eşitlik 9.3'den.

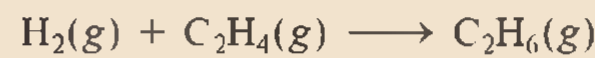
$$\Delta H^\circ = 1371,5 \text{ kJ/mol} - 1840 \text{ kJ/mol} = -469 \text{ kJ/mol}$$

O—H bağ enerjisi ortalama bir değer olduğundan bu sonuç sadece yaklaşık bir sonuçtur. Eşitlik 6.18 ve Ek 3'deki bilgileri kullanarak tepkime entalpisini bir başka yolla da hesaplamak mümkündür:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= 2\Delta H_{\text{ol}}^\circ(\text{H}_2\text{O}) - [2\Delta H_{\text{ol}}^\circ(\text{H}_2) + \Delta H_{\text{ol}}^\circ(\text{O}_2)] \\ &= 2(-241,8 \text{ kJ/mol}) - 0 - 0 \\ &= -483,6 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Kontrol Ortalama bağ enerjisine dayanan yaklaşık değerler. $\Delta H_{\text{ol}}^\circ$ bilgileri kullanılarak hesaplanan değere çok yakın olduğuna dikkat ediniz. Eşitlik 9.3, oldukça endotermik ($\Delta H_{\text{tep}}^\circ > 100 \text{ kJ/mol}$) ya da oldukça ekzotermik ($\Delta H_{\text{tep}}^\circ < -100 \text{ kJ/mol}$) tepkimeler için genellikle gerçek değere yakın sonuçlar verir.

Alıştırma



Yukarıdaki tepkime için:

- Çizelge 9.4'de verilen bağ enerjisi değerlerini kullanarak tepkime entalpisini hesaplayınız.
- Standart oluşum entalpilerini kullanarak tepkime entalpisini hesaplayınız. (H_2 , C_2H_4 ve C_2H_6 için $\Delta H_{\text{ol}}^\circ$ değerleri sırasıyla 0, 52,3 kJ/mol ve -84,7 kJ/mol.)

Berzer problem: 9.72.

Kavramların Değerlendirilmesi

Neden bağ entalpilerini kullanarak hesaplanan $\Delta H_{\text{tep}}^\circ$ değeri her zaman $\Delta H_{\text{ol}}^\circ$ kullanılarak hesaplanan ile aynı değildir?

Anahtar Eşitlik

$$\Delta H^\circ = \Sigma BE(\text{tepkenler}) - \Sigma BE(\text{ürünler}) \quad (9.3) \quad \text{Bağ entalpilerinden bir tepkimenin entalpi değişiminin hesaplanması}$$

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Lewis nokta simgeleri, bir element atomunun sahip olduğu değerlik elektronlarının sayısını gösterir. Esas olarak Lewis nokta simgeleri baş grup elementleri için uygundur.
2. İyonik bağ oluşturmaya eğilimli elementler düşük iyonlaşma enerjisine (katyon oluşturan alkali ve toprak alkali metaller gibi) ya da yüksek elektron ilgisine (anyon oluşturan oksijen ve halojenler gibi) sahiptirler.
3. Bir iyonik bağ, pozitif ve negatif iyonlar arasındaki elektrostatik çekim kuvvetinin sonucudur. Bir iyonik bileşik, pozitif ve negatif yüklerin dengede olduğu büyük bir iyon ağı örgüsü şeklindedir. Katı iyonik bileşiğin yapısında iyonlar arasındaki net çekim kuvvetleri maksimumdur.
4. Örgü enerjisi iyonik bir katının kararlılığının bir ölçütüdür. Hess yasasına dayanan Born-Haber çevrimiyle hesaplanabilir.
5. Bir kovalent bağda iki elektron (bir çift) iki atom tarafından paylaşılır. Çoklu kovalent bağlarda, iki ya da üç elektron çifti iki atom tarafından paylaşılır. Bağ yapmış bazı atomlar yalnız elektron çiftlerine sahiptir, yani değerlik elektronu çiftlerinden bazıları bağlanmaya katılmaz. Bir molekülde her bir atom çevresindeki bağ elektronları ve yalnız elektron çiftlerinin düzeni Lewis yapısıyla gösterilir.
6. Elektronegatiflik, bir atomun kimyasal bağdaki elektronları çekme yeteneğinin bir ölçütüdür.
7. Oktet kuralına göre, bir moleküldeki atomların her biri kendini sekiz elektronla çevrili duruma getirecek şekilde kovalent bağlar yapar. İki atom arasında kovalent bağ oluşturan elektron çiftinin ikisi de aynı atomdan gelmişse, Lewis yapısında, atomlar üzerinde formal yük bulunabilir. Özellikle berilyumun kovalent bileşiklerinde, 3A Grubu elementlerinde ve üçüncü periyot ve sonrasındaki periyot elementlerinde oktet kuralından sapmalar olabilir.
8. Bazı moleküller ve çok atomlu iyonlar için, aynı iskelet yapısında birden fazla Lewis yapısı yazılabilir. Bunlar rezonans yapıları olup, oktet kuralını sağlarlar ve kimyasal bakımdan önemlidirler. Molekül ya da iyonun gerçek yapısı bu rezonans yapılarının bileşkesidir.
9. Bir kovalent bağın kuvveti bağ enerjisiyle ölçülür. Bağ entalpileri, tepkimelerin entalpilerini yaklaşık olarak hesaplamakta kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler

Bağ enerjisi, s. 400	Formal yük, s. 389	Lewis nokta simgesi, s. 371	Polar kovalent bağ, s. 382
Bağ uzunluğu, s. 381	İkili bağ, s. 381	Lewis yapısı, s. 380	Rezonans, s. 392
Born-Haber döngüsü s. 374	İyonik bağ, s. 372	Oktet kuralı, s. 380	Rezonans yapısı, s. 392
Coulomb yasası s. 374	Koordine kovalent bağ, s. 395	Ortaklanmış elektron çifti, s. 380	Tekli bağ, s. 380
Çoklu bağ, s. 380	Kovalent bağ, s. 379		Üçlü bağ, s. 381
Elektronegatiflik, s. 382	Kovalent bileşikler, s.379		

Sorular ve Problemler

Lewis Nokta Simgeleri

Tarama Soruları

- 9.1 Lewis nokta simgesi nedir? Bu simge esasen hangi elementler için geçerlidir?
- 9.2 1A'dan 7A'ya kadar olan her bir grubun ikinci üyesini kullanarak, bir element atomu üzerindeki değerlik elektronları sayısı ile onun grup numarasının aynı olduğunu gösteriniz.
- 9.3 Verilen şu element atomlarının Lewis nokta simgelerini Şekil 9.1'i kullanmadan yazınız: (a) Be, (b) K, (c) Ca, (d) Ga, (e) O, (f) Br, (g) N, (h) I, (i) As, (j) F.
- 9.4 Verilen şu iyonların Lewis nokta simgelerini yazınız: (a) Li^+ , (b) Cl^- , (c) S^{2-} , (d) Sr^{2+} , (e) N^{3-} .
- 9.5 Verilen şu atom ve iyonların Lewis nokta simgelerini yazınız: (a) I, (b) I, (c) S, (d) S^{2-} , (e) P, (f) P^{3-} , (g) Na, (h) Na^+ , (i) Mg, (j) Mg^{2+} , (k) Al, (l) Al^{3+} , (m) Pb, (n) Pb^{2+} .

İyonik Bağ**Tarama Soruları**

- 9.6 İyonik bağın ne olduğunu açıklayınız.
- 9.7 Element atomlarının iyonik bileşik oluşturup oluşturmayacağını iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi nasıl belirler, açıklayınız.
- 9.8 İyonik bileşik oluşturmaya eğilimli beş tane metal beş tane ametal adı veriniz. Bu metal ve ametallerin kombinasyonu sonucu oluşabilecek bileşiklerin formüllerini yazınız. Bu bileşikleri adlandırınız.
- 9.9 Sadece ametal elementlerden oluşan bir iyonik bileşik adı söyleyiniz.
- 9.10 Çok atomlu bir katyon ve çok atomlu bir anyondan oluşan iyonik bir bileşik adı yazınız (bkz. Çizelge 2.3).
- 9.11 İyonik bileşiklerde, neden 3'den büyük yüklü iyonların nadiren bulunduğunu açıklayınız.
- 9.12 "Mol kütlesi" terimi Bölüm 3'de anlatıldı. İyonik bileşikler incelirken, "mol kütlesi" terimini kullanmanın avantajı nedir?
- 9.13 Verilen şu hallerden hangisinde NaCl elektriksel olarak iletkenir? (a) katı, (b) eriyik, (c) suda çözünmüş. Cevaplarınızı açıklayınız.
- 9.14 Berilyum, klor ile kaba formülü BeCl_2 olan bir bileşik oluşturur. Bunun iyonik bir bileşik olup olmadığını nasıl belirlersiniz? (Bileşik suda çözünmez).

Problemler

- 9.15 Bir A^+ katyonu ve bir B^- anyonu arasında iyonik bir bağ oluşuyor. İyonik bağın enerjisi [bakınız Eşitlik (9.2)] verilen şu değişimlerden nasıl etkilenir? (a) A^+ çapının iki katına çıkması, (b) A^+ üzerindeki yükün üç katına çıkması, (c) A^+ ve B^- üzerindeki yüklerin iki katına çıkması, (d) A^+ ve B^- yarıçaplarının başlangıçtaki değerlerinin yarısına düşmesi.
- 9.16** Verilen şu iyon çiftlerinden oluşan bileşiklerin adlarını ve kaba formüllerini yazınız: (a) Rb^+ ve I^- , (b) Cs^+ ve SO_4^{2-} , (c) Sr^2+ ve N^{3-} , (d) Al^{3+} ve S^{2-} .
- 9.17 Anyon ve katyonlar oluşturmak için, Lewis nokta simgelerini kullanarak verilen şu atomlar arasındaki elektron aktarımını gösteriniz. (a) Na ve F, (b) K ve S, (c) Ba ve O, (d) Al ve N.
- 9.18** Aşağıdaki tepkimelerde ürün ve tepkenlerin Lewis nokta simgelerini yazınız. (Önce tepkimeleri denkleştiriniz.)
- (a) $\text{Sr} + \text{Se} \longrightarrow \text{SrSe}$
- (b) $\text{Ca} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{CaH}_2$
- (c) $\text{Li} + \text{N}_2 \longrightarrow \text{Li}_3\text{N}$
- (d) $\text{Al} + \text{S} \longrightarrow \text{Al}_2\text{S}_3$
- 9.19 Verilen şu element çiftlerinin herbiri için oluşturdukları iki elementli bileşiğin iyonik ya da kovalent

olup olmadığını belirtiniz. Bileşiğin adını ve kaba formülünü yazınız. (a) I ve Cl, (b) Mg ve F.

- 9.20** Verilen şu element çiftlerinin herbiri için oluşturdukları iki elementli bileşiğin iyonik ya da kovalent olup olmadığını belirtiniz. Bileşiğin adını ve kaba formülünü yazınız. (a) B ve F, (b) K ve Br.

İyonik Bileşiklerin Örgü Enerjisi**Tarama Soruları**

- 9.21 Örgü enerjisi nedir ve iyonik bileşiklerin kararlılığındaki rolü nedir?
- 9.22 KCl gibi iyonik bir bileşiğin örgü enerjisi, Born-Haber çevrimi kullanılarak nasıl belirlenebilir? Açıklayınız. Bu işlem hangi yasayı esas alır?
- 9.23 Verilen şu iyonik bileşik çiftlerinden hangisi daha yüksek örgü enerjisine sahiptir? Belirtiniz. (a) KCl ya da MgO, (b) LiF ya da LiBr, (c) Mg_3N_2 ya da NaCl. Seçiminizi açıklayınız.
- 9.24 Verilen şu bileşik çiftlerinin katı haldeki kararlılıklarını karşılaştırmamız. (a) LiF ve LiF_2 (Li^{2+} iyonu içerir), (b) Cs_2O ve CsO (O iyonu içerir), (c) CaBr_2 ve CaBr_3 (Ca^{3+} iyonu içerir).

Problemler

- 9.25 Kısım 9.3'de LiF üzerinde anlatılan Born-Haber çevrimini, NaCl'ün örgü enerjisini hesaplamak için kullanınız. [Na 'ın süblimleşme enerjisi 108 kJ/mol ve $\Delta H_{\text{ol}}^\circ (\text{NaCl}) = -411$ kJ/mol, 1 mol Cl_2 'ü Cl atomlarına ayırmak için gerekli enerji = 121,4 kJ]
- 9.26** Kalsiyum klorürün örgü enerjisini hesaplayınız. Ca 'ın süblimleşme enerjisi 121 kJ/mol ve $\Delta H_{\text{ol}}^\circ (\text{CaCl}_2) = -795$ kJ/mol'dür. (Diğer bilgiler için bakınız Çizelge 8.2 ve 8.3.)

Kovalent Bağ**Tarama Soruları**

- 9.27 Kovalent bağ anlamamıza Lewis kuralının katkısı nedir?
- 9.28 Şu terimleri tanımlayınız: ortaklanmış elektron çiftleri, Lewis yapısı, oktet kuralı, bağ uzunluğu.
- 9.29 Lewis nokta simgesiyle Lewis yapısı arasındaki fark nedir?
- 9.30 Şu bileşiklerin altı çizili olan atomlarında kaç tane yalnız elektron çifti vardır? HBr , H_2S , CH_4
- 9.31 Bir moleküldeki tekli, ikili ve üçlü bağların farklarını ayırt ediniz ve her birine birer örnek veriniz. Aynı bağlı atomlar için, ikili bağdan üçlü bağa bağ uzunluğu nasıl değişir?
- 9.32 İyonik ve kovalent bileşiklerin özelliklerini karşılaştırmamız.

Elektronegatiflik ve Bağ Türü

Tarama Soruları

- 9.33 Elektronegatifliği tanımlayınız ve elektronegatiflikle elektron ilgisi arasındaki farkı açıklayınız. Elementlerin elektronegatifliklerinin periyodik çizelgedeki konumlarına göre genellikle nasıl değiştiğini açıklayınız.
- 9.34 Polar kovalent bağ nedir? Bir ya da daha fazla sayıda polar kovalent bağ içeren iki bileşik adı söyleyiniz.

Problemler

- 9.35 Şu bağları artan iyonik karakterine göre sıralayınız: LiF'deki lityum-flor bağı, K_2O 'deki potasyum-oksijen bağı, N_2 'daki azot-azot bağı, SO_2 'deki kükürt-oksijen bağı, ClF_3 'deki klor-flor bağı.
- 9.36 Şu bağları artan iyonik karakterine göre sıralayınız: karbon-hidrojen, flor-hidrojen, brom-hidrojen, sodyum-klor, potasyum-flor, lityum-klor.
- 9.37 D, E, F ve G olarak rastgele etiketlenmiş dört atomun elektronegatiflikleri şöyledir: D = 3,8, E = 3,3, F = 2,8 ve G = 1,3. Eğer bu elementlerin atomları DE, DG, EG ve DF moleküllerini oluştursalardı, bu molekülleri artan kovalent bağ karakterine göre nasıl sıralardınız?
- 9.38 Şu bağları artan iyonik karakterine göre sıralayınız: sezyum-flor, klor-klor, brom-klor, silisyum-karbon.
- 9.39 Şu bağları iyonik, polar kovalent ya da kovalent bağ olarak sınıflandırmış ve nedeninizi açıklayınız. (a) H_3CCH_3 'daki CC bağı, (b) KI'deki KI bağı, (c) H_3NBCl_3 'daki NB bağı, (d) CF_4 'deki CF bağı.
- 9.40 Şu bağları iyonik, polar kovalent ya da kovalent bağ olarak sınıflandırmış ve nedeninizi açıklayınız. (a) $Cl_3SiSiCl_3$ 'deki SiSi bağı, (b) $Cl_3SiSiCl_3$ 'deki SiCl bağı, (c) CaF_2 'deki CaF bağı, (d) NH_3 'daki NH bağı.

Lewis Yapısı ve Oktet Kuralı

Tarama Soruları

- 9.41 Lewis oktet kuralının temel özelliklerini özetleyiniz. Oktet kuralı neden ikinci periyot elementleri için geçerlidir. Açıklayınız.
- 9.42 Formal yük kavramını açıklayınız. Bir moleküldeki formal yükler, yüklerin gerçek ayrımını gösterir mi?

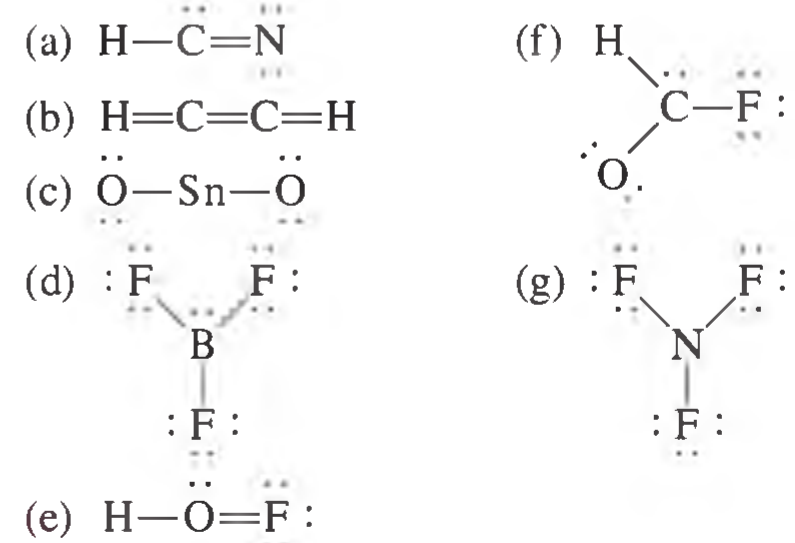
Problemler

- 9.43 Şu molekül ve iyonların Lewis yapılarını yazınız: (a) NCl_3 , (b) OCS , (c) H_2O_2 , (d) CH_3COO^- , (e) CN^- , (f) $CH_3CH_2NH_3^+$.
- 9.44 Şu molekül ve iyonların Lewis yapılarını yazınız: (a) OF_2 , (b) N_2F_2 , (c) Si_2H_6 , (d) OH^- , (e) CH_2ClCOO^- , (f) $CH_3NH_3^+$.

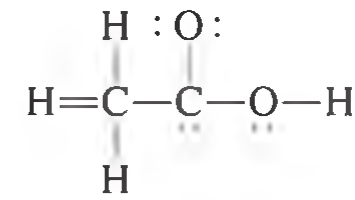
- 9.45 Şu moleküllerin Lewis yapılarını yazınız: (a) ICl , (b) PH_3 , (c) P_4 (her bir P atomu diğer üç P atomuna bağlıdır), (d) H_2S , (e) N_2H_4 , (f) $HClO_3$, (g) $COBr_2$ (C atomu O ve Br atomlarına bağlıdır).

- 9.46 Şu iyonların Lewis yapılarını yazınız: (a) O_2^- , (b) C_2^{2-} , (c) NO^+ , (d) NH_4^+ . Formal yükleri gösteriniz.

- 9.47 Aşağıda (a) HCN , (b) C_2H_2 , (c) SnO_2 , (d) BF_3 , (e) HOF , (f) $HCOF$ ve (g) NF_3 için verilen Lewis yapıları yanlıştır. Her biri için neyin yanlış olduğunu açıklayınız ve molekülün doğru Lewis yapısını çizin. (Atomların bağlı konumları doğru olarak gösterilmiştir.)



- 9.48 Aşağıdaki yapıda asetik asidin iskelet yapısı doğru; ancak bazı bağlar yanlıştır. (a) Doğru olmayan bağları belirleyiniz ve neyin yanlış olduğunu açıklayınız. (b) Asetik asit için doğru Lewis yapısını yazınız.



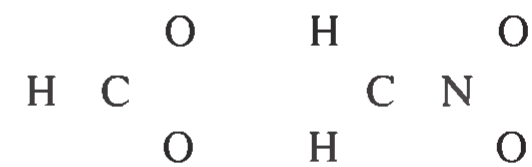
Rezonans

Tarama Soruları

- 9.49 Bağ uzunluğu, rezonans ve rezonans yapısını tanımlayınız.
- 9.50 Bir bileşiğin rezonans yapısını izole etmek mümkün müdür? Açıklayınız.

Problemler

- 9.51 Aşağıdaki türlerin tüm rezonans yapılarıyla birlikte Lewis yapılarını yazınız ve formal yükleri gösteriniz: (a) HCO_2^- , (b) $CH_2NO_2^-$. Atomların bağlı konumları aşağıdaki gibidir:



- 9.52 Klorat iyonunun, ClO_3^- , üç rezonans yapısını çizin. Formal yükleri gösteriniz.

9.53 Hidrazoik asitin, HN_3 , üç rezonans yapısını yazınız. Atom düzeni HNNN şeklindedir. Formal yükleri gösteriniz.

9.54 Diazometanın, CH_2N_2 , iki rezonans yapısını çizin. Formal yükleri gösteriniz. Molekülün iskelet yapısı aşağıdaki gibidir:



9.55 Atomları ONNO_2 şeklinde sıralanan N_2O_3 molekülü için üç rezonans yapısı çizin. Formal yükleri gösteriniz.

9.56 OCN^- iyonu için üç uygun rezonans yapısı çizin. Formal yükleri gösteriniz.

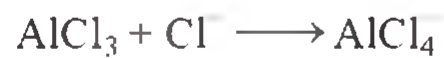
Oktet Kuralından Sapmalar

Tarama Soruları

- 9.57 Oktet kuralı, neden periyodik çizelgenin üçüncü periyot ve sonrasındaki elementlerini içeren birçok bileşiği kapsamaz.
- 9.58 Oktet kuralına uymayan üç bileşik veriniz. Her birinin Lewis yapısı yazınız.
- 9.59 Flor yedi değerlik elektronuna sahiptir ($2s^2 2p^5$) ve ilke olarak, yedi kovalent bağ oluşturabilir. Böyle bir bileşik FH_7 ya da FCl_7 şeklinde olabilir. Ancak, bu bileşikler asla elde edilemezler. Neden?
- 9.60 Koordine kovalent bağ nedir? Normal kovalent bağdan farklı mıdır?

Problemler

- 9.61 AlI_3 molekülünde Al atomu eksik oktete sahiptir. Al ve I atomlarının her ikisinin de oktet kuralını sağladığı üç rezonans yapısı çizin. Formal yükleri gösteriniz.
- 9.62** Buhar fazında, berilyum klorür, ayrı BeCl_2 molekül birimlerinden oluşur. Bu bileşikte Be oktet kuralını sağlar mı? Eğer sağlamıyorsa, bir başka rezonans yapısı çizerek Be çevresinde bir oktet oluşturabilir misiniz? Bu yapı ne kadar kararlıdır.
- 9.63 Soy gazlardan yalnızca Kr, Xe ve Rn'un O ve/veya F'la birkaç bileşik oluşturduğu bilinmektedir. Verilen şu moleküllerin Lewis yapılarını yazınız: (a) XeF_2 , (b) XeF_4 , (c) XeF_6 , (d) XeOF_4 , (e) XeO_2F_2 . Her bir durumda Xe merkez atomdur.
- 9.64** SbCl_5 'ün Lewis yapısını yazınız. Bu molekül oktet kuralına uyar mı?
- 9.65 SeF_4 ve SeF_6 'ün Lewis yapılarını yazınız. Se oktet kuralını sağlar mı?
- 9.66** Aşağıdaki tepkime için Lewis yapılarını yazınız.



Oluşan üründe Al ve Cl arasında ne tür bir bağ vardır?

Bağ Enerjisi

Tarama Soruları

- 9.67 Bağ enerjisini tanımlayınız. Çok atomlu moleküllerin bağ entalpileri ortalama değerlerken, iki atomlu moleküllerinki tam olarak belirlenebilir. Neden?
- 9.68 Bir molekülün bağ enerjisinin neden genellikle bir gaz fazı tepkimesiyle belirlendiğini açıklayınız. Neden bağ kırılması süreci daima endotermik, bağ oluşumu ise ekzotermiktir?

Problemler

- 9.69 Aşağıda verilen bilgilerden N—H bağının ortalama bağ enerjisini hesaplayınız:
- $$\begin{array}{ll} \text{NH}_3(g) \longrightarrow \text{NH}_2(g) + \text{H}(g) & \Delta H^\circ = 435 \text{ kJ/mol} \\ \text{NH}_2(g) \longrightarrow \text{NH}(g) + \text{H}(g) & \Delta H^\circ = 381 \text{ kJ/mol} \\ \text{NH}(g) \longrightarrow \text{N}(g) + \text{H}(g) & \Delta H^\circ = 360 \text{ kJ/mol} \end{array}$$
- 9.70** Aşağıdaki tepkimede O_3 'ün ortalama bağ enerjisini hesaplayınız.
- $$\text{O}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{O}_3(g) \quad \Delta H^\circ = -107,2 \text{ kJ/mol}$$
- 9.71 $\text{F}_2(g)$ 'ün bağ enerjisi $156,9 \text{ kJ/mol}$ 'dür. $\text{F}(g)$ için $\Delta H^\circ_{\text{ol}}$ değerini hesaplayınız.
- 9.72** Aşağıdaki tepkime için:
- $$2\text{C}_2\text{H}_6(g) + 7\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(g)$$
- (a) Çizelge 9.4'deki ortalama bağ enerjilerini kullanarak, tepkimenin entalpisini hesaplayınız.
- (b) Ürün ve tepken moleküllerinin standart oluşum entalpilerini (bakınız Ek 3) kullanarak tepkime entalpisini hesaplayınız ve sonucu (a) şıkkındaki yanıtınızla karşılaştırınız.

Ek Problemler

- 9.73 Verilen şu maddeleri iyonik bileşik ya da kovalent bileşik olarak sınıflandırınız: CH_4 , KF , CO , SiCl_4 , BaCl_2 .
- 9.74** Verilen şu bileşiklerden hangileri iyonik bileşiktir? Hangileri kovalent bileşiktir? RbCl , PF_5 , BrF_3 , KO_2 , Cl_4 .
- 9.75 Verilen şu enerji değişimlerinin her birini, aşağıdaki şıklardan biriyle eşleştiriniz: iyonlaşma enerjisi, elektron ilgisi, bağ enerjisi, standart oluşum entalpi.
- (a) $\text{F}(g) + e^- \longrightarrow \text{F}^-(g)$
- (b) $\text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{F}(g)$
- (c) $\text{Na}(g) \longrightarrow \text{Na}^-(g) + e^-$
- (d) $\text{Na}(k) + \frac{1}{2}\text{F}_2(g) \longrightarrow \text{NaF}(k)$
- 9.76** Üçüncü periyot elementlerinin oluşturduğu florür bileşiklerinin formülleri NaF , MgF_2 , AlF_3 , SiF_4 , PF_5 , SF_6 ve ClF_3 'dür. Bu bileşikleri kovalent ya da iyonik olarak sınıflandırınız.

9.77 Aşağıda verilen tepkimelerin enerji değişimlerini (kJ), iyonlaşma enerjisi (bakınız Çizelge 8.2) ve elektron ilgisi (bakınız Çizelge 8.3) değerlerini kullanarak hesaplayınız:

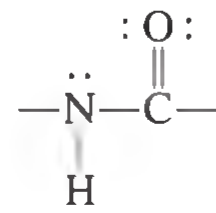
- (a) $\text{Li}(g) + \text{I}(g) \longrightarrow \text{Li}^+(g) + \text{I}^-(g)$
 (b) $\text{Na}(g) + \text{F}(g) \longrightarrow \text{Na}^+(g) + \text{F}^-(g)$
 (c) $\text{K}(g) + \text{Cl}(g) \longrightarrow \text{K}^+(g) + \text{Cl}^-(g)$

9.78 KF gibi iyonik bir bileşiği, benzen (C_6H_6) gibi kovalent bir bileşikten ayırt edebilecek bazı özellikleri açıklayınız.

9.79 BF_3 , ClF_5 ve IF_7 'ün Lewis yapılarını yazınız. Bu bileşiklerin oktet kuralına uymadığını gösteriniz.

9.80 Atomların NNN şeklinde sıralandığı azid iyonu, N_3^- , için üç uygun rezonans yapısı yazınız. Formal yükleri gösteriniz.

9.81 Amit grubu proteinlerin yapısının belirlenmesinde önemli bir rol oynar:



Bu grubun diğer rezonans yapısını çiziniz. Formal yükleri gösteriniz.

9.82 Al atomunun (a) oktet kuralına uyduğu, (b) genişletilmiş oktete uyduğu (c) eksik oktete uyduğu iyon ya da moleküllerine birer örnek veriniz.

9.83 PO_3F^{2-} iyonu için dört uygun rezonans yapısı çiziniz. Bu yapıda P merkez atomu, üç O ve bir F atomuna bağlıdır. Formal yükleri gösteriniz.

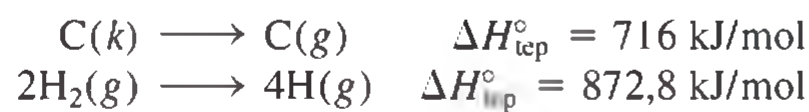
9.84 Atmosfer koşullarında aşağıdaki türleri elde etme girişimleri başarısız olmuştur. Bu başarısızlık için mümkün olabilecek nedenleri açıklayınız. CF_2 , LiO_2 , CsCl_2 , PI_5

9.85 Şu iyonların uygun rezonans yapılarını çiziniz: (a) HSO_4^- , (b) PO_4^{3-} , (c) HSO_3^- , (d) SO_3^{2-} . (İpucu: s.398'deki açıklamaya bakınız.)

9.86 Şu ifadeleri doğru ya da yanlış olarak nitelendiriniz: (a) Formal yükler, yüklerin gerçek ayrımını gösterir; (b) $\Delta H_{\text{tep}}^\circ$, tepkenler ve ürünlerin bağ entalpilerinden tahmin edilebilir; (c) tüm ikinci periyot elementleri, bileşiklerinde oktet kuralına uyar; (d) bir molekülün rezonans yapıları birbirlerinden ayrılabilir.

9.87 Merkez atomunun, kendini çevreleyen atomlardan daima daha az elektronegatif olması, doğru Lewis yapılarının çizilmesinde bir kuraldır. Bunun neden böyle olduğunu açıklayınız. Bu kural neden H_2O ve NH_3 gibi bileşiklere uygulanmaz?

9.88 Aşağıdaki bilgileri kullanarak ve C-H bağ enerjisinin ortalama 414 kJ/mol olduğunu varsayarak; metanın (CH_4) standart oluşum entalpisini hesaplayınız.



9.89 Enerji değerleri düşütüldüğünde şu iki tepkimeden hangisi daha kolay gerçekleşir.

- (a) $\text{Cl}(g) + \text{CH}_4(g) \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl}(g) + \text{H}(g)$
 (b) $\text{Cl}(g) + \text{CH}_4(g) \longrightarrow \text{CH}_3(g) + \text{HCl}(g)$

(İpucu: Çizelge 9.4'e bakınız ve C-Cl bağının ortalama bağ enerjisinin 338 kJ/mol olduğunu varsayınız.)

9.90 Şu moleküllerden hangisi en kısa azot-azot bağına sahiptir? Açıklayınız. N_2H_4 , N_2O , N_2 , N_2O_4

9.91 Birçok organik asit RCOOH şeklinde gösterilebilir. Burada COOH , karboksil grubunu, R ise molekülün geri kalan kısmını gösterir. [Örneğin, asetik asitte (CH_3COOH) R grubu CH_3 'dir.] (a) Karboksil grubunun Lewis yapısını çiziniz. (b) Karboksil grubu iyonlaştığında karboksilat grubuna (COO^-) dönüşür. Karboksilat grubunun rezonans yapılarını çiziniz.

9.92 Şu molekül ya da iyonların hangileri izoelektroniktir: NH_4^+ , C_6H_6 , CO , CH_4 , N_2 , $\text{B}_3\text{N}_3\text{H}_6$

9.93 Şu türler uzay boşluğunda belirlenmiştir: (a) CH, (b) OH, (c) C_2 , (d) HNC, (e) HCO. Bu türlerin Lewis yapılarını çiziniz ve diyamanyetik ya da paramanyetik olup olmadıklarını gösteriniz.

9.94 Amit iyonu (NH_2^-) bir Brønsted bazıdır. Lewis yapılarını kullanarak amit iyonu ve su arasındaki tepkimeyi gösteriniz.

9.95 Şu organik moleküllerin Lewis yapılarını çiziniz: (a) tetrafloretilen (C_2F_4), (b) propan (C_3H_8), (c) butadien ($\text{CH}_2\text{CHCHCH}_2$), (d) propin (CH_3CCH), (e) benzoik asit ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$). (İpucu: $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ molekülünün açık yapısını çizmek için benzendeki bir H'yi bir COOH grubuyla yer değiştiriniz.)

9.96 I atomlarının düz bir çizgi boyunca düzenlendiği triiyodür iyonu, I_3^- , kararlı, ancak buna benzeyen F_3^- iyonu kararlı değildir. Nedenini açıklayınız.

9.97 Aşağıdaki tepkimedeki enerji değişimi ile F_2 'un bağ enerjisini karşılaştırınız:



F_2 'un ayrışması için, enerji bakımından hangisi tercih edilir?

9.98 Metil izosiyanat, CH_3NCO , böcek öldürücülerin yapımında kullanılır. Aralık 1984'de, Hindistan'da bulunan kimyasal bir tesiste, bu maddeyi içeren bir tankın içine sızan su, binlerce insanın ölümüne neden olan zehirli bir gaz oluşturmuştur. CH_3NCO bileşiğinin Lewis yapılarını çiziniz ve formal yükleri gösteriniz.

9.99 Klor nitrat molekülünün (ClONO_2) Güney Kutbunda stratosferdeki ozonu tahrip ettiği sanılmaktadır. Bu molekülün uygun Lewis yapısını çiziniz.

9.100 CO_2 molekülünün birkaç rezonans yapısı aşağıda verilmiştir. Bunlardan bazıları neden bağlanmayı ta-

nımlamada daha az öneme sahiptir, açıklayınız.

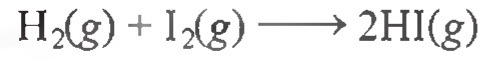


- 9.101 Karbon atomlarının birbirlerine tekli bağlarla bağlı olduğu şu organik moleküllerin her biri için bir Lewis yapısı çiziniz: (a) C_2H_6 , (b) C_4H_{10} , (c) C_5H_{12} . (b) ve (c) için yalnızca her bir C'nun ikiden fazla C'a bağlı olmadığı yapıları gösteriniz.

- 9.102** Stratosferdeki ozonun azalmasından kısmen sorumlu olan aşağıdaki kloroflor karbonların (CFC) Lewis yapılarını çiziniz: (a) CFC_3 , (b) CF_2Cl_2 , (c) CHF_2Cl , (d) CF_3CHF_2 .

- 9.103 Bir $\text{C}=\text{C}$ bağı içeren ve molekülün geri kalanında karbon atomlarının birbirlerine $\text{C}-\text{C}$ bağlarıyla bağlandığı aşağıdaki organik moleküllerin Lewis yapılarını çiziniz: $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}$, C_3H_6 , C_4H_8

- 9.104** (a) Eşitlik (9.3) ve (b) Eşitlik (6.18)'i kullanarak şu tepkimenin ΔH° değerini hesaplayınız:



$\text{I}_2(\text{g})$ için ΔH°_f değeri 61.0 kJ/mol

- 9.105 Verilen organik moleküllerin Lewis yapılarını çiziniz: (a) metanol (CH_3OH); (b) etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$); (c) kurşunlu benzinde kullanılan tetraetilkurşun [$\text{Pb}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_4$] (d) metilamin (CH_3NH_2) (e) I. Dünya Savaşında kullanılan zehirli hardal gazı ($\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$) (f) bir gübre olan üre [$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$] (g) bir amino asit olan glisin ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$)

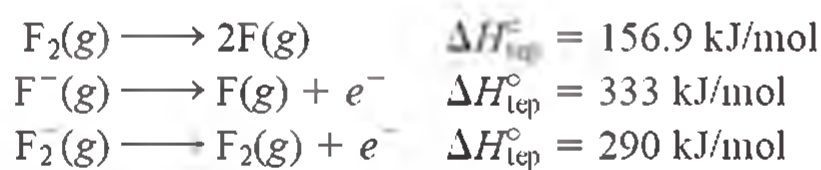
- 9.106** Şu dört izoelektronik türün Lewis yapılarını çiziniz: (a) CO , (b) NO^+ , (c) CN^- , (d) N_2 . Formal yükleri gösteriniz.

- 9.107 Oksijen, anyonları oksit (O^{2-}), peroksit (O_2^{2-}) ve superoksit (O_2^-) şeklinde olan üç tür iyonik bileşik oluşturur. Verilen bu iyonların Lewis yapılarını çiziniz.

- 9.108** Şu ifadenin doğruluğunu yorumlayınız: Soy gaz atomu içeren tüm bileşikler oktet kuralına uymaz.

- 9.109 (a) Siyanat iyonu (NCO^-) ve (b) izosiyanat iyonu (CNO^-) için üç rezonans yapısı yazınız. Her bir durum için rezonans yapılarını artan önemine göre sıralayınız.

- 9.110** (a) Aşağıdaki bilgilerden, F_2^- iyonunun bağ enerjisini hesaplayınız.



- (b) F_2 ve F_2^- iyonunun bağ enerjileri arasındaki farkı açıklayınız.

- 9.111 Rezonans kavramı bazen bir at ve bir eşeğin melezi olan katırın durumuna benzetilir. Bu benzetmeyi, bu bölümde kullanılan tek boynuzlu bir at ve yarısı aslan-yarısı kartal bir ejderhanın melezi olan gergedan benzetmesiyle karşılaştırınız. Hangi tanımlama daha uygundur? Neden?

- 9.112** Örnek 9.7'de, (b)'nin seçilmesindeki diğer iki neden nedir?

- 9.113 Sayfa 399'daki "Kimya İşbaşında" isimli okuma parçasında, nitrik oksit, bilinen kararlı en küçük 10 molekülden birisi olduğu belirtildi. Şu ana kadar bu derste öğrendiklerinizi düşünerek, bildiğiniz tüm iki atomlu molekülleri ve adlarını yazınız. Lewis yapılarını gösteriniz.

- 9.114** Nitrik oksitteki N-O bağı uzunluğu, bir üçlü bağ (106 pm) ve bir ikili bağ (120 pm) uzunlukları arasındaki bir değer olan 115 pm'dir. (a) NO için iki rezonans yapısı çiziniz ve bu yapıların bağl önemlerini yorumlayınız. (b) Atomlar arasında bir üçlü bağ içeren rezonans yapısı çizmek olası mıdır?

- 9.115 LiH'den HF'e kadar, ikinci periyot elementleri için iki elementli hidrürlerin formüllerini yazınız. Bu bileşiklerin iyonikten kovalent karaktere olan değişimini yorumlayınız. Berilyumun diğer 2A grubu metallerden farklı davrandığına dikkat ediniz (bakınız s. 350).

- 9.116** Hidrazin boran ($\text{NH}_2\text{NH}_2\text{BH}_3$) hidrojen depolama malzemesi olarak önerilmiştir. Lityum hidrür (LiH) tepkime verdiğinde hidrojen gazı açığa çıkar.



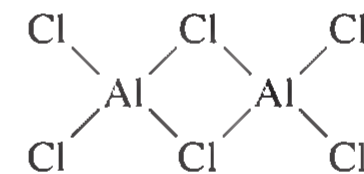
$\text{NH}_2\text{NH}_2\text{BH}_3$ ve NH_2NHBH_3 için Lewis yapılarını yazınız ve tüm formal yükleri belirleyiniz.

- 9.117 Azot dioksit (N_2O) kararlı bir bileşik olmasına rağmen, iki molekül N_2O diazot tetraoksit (N_2O_4) oluşturmak üzere birleşme eğilimindedir. Neden? N_2O_4 için formal yükleri gösteren dört rezonans yapısı çiziniz.

- 9.118** CO_3^{2-} (karbonat) iyonu için Örnek 9.5 de verilen O C O O yapısından başka bir iskelet yapısı daha olasıdır. CO_3^{2-} 'nu göstermek için bu yapıyı neden kullanmayız?

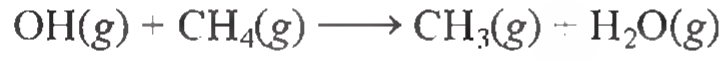
- 9.119 Azot pentaoksit (N_2O_5) için her bir N atomuna üç O atomunun bağlı olduğu bir Lewis yapısı çiziniz.

- 9.120** Gaz fazında, alüminyum klorür, Al_2Cl_6 formülünde bir dimer olarak bulunur. İskelet yapısı şu şekildedir:



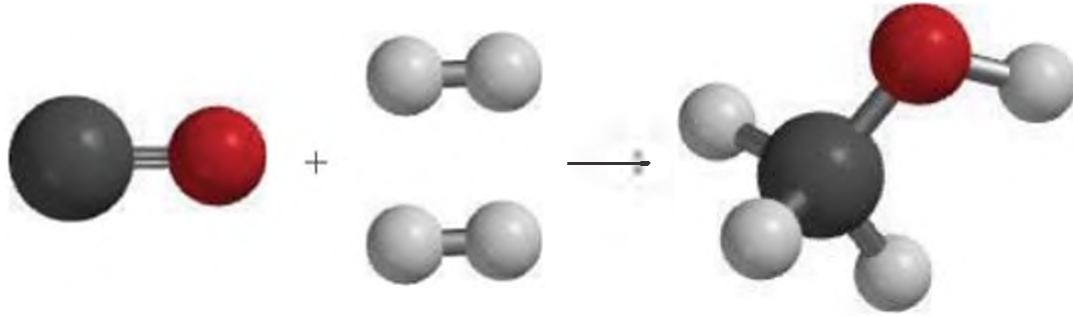
Lewis yapısını tamamlayınız ve moleküldeki koordinat kovalent bağları gösteriniz.

- 9.121 Hidroksil radikali (OH), atmosfer kimyasında önemli bir rol oynar. Bu radikal kimyasal olarak oldukça etkindir ve diğer bileşiklerin yapısını bozarak, kopardığı bir H atomuyla birleşme eğilimindedir. Bu yolla atmosferin temizlenmesine yardımcı olduğundan, bazen “temizleyici” radikal olarak da bilinir. (a) Radikalın Lewis yapısını yazınız. (b) Çizelge 9.4’ü kullanarak, radikalın H atomlarına karşı neden yüksek bir ilgiye sahip olduğunu açıklayınız. (c) Aşağıdaki tepkimenin entalpi değişimini bulunuz.

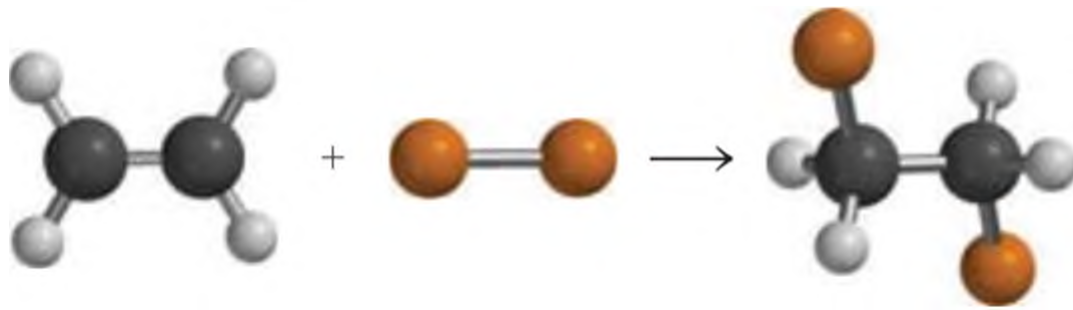


(d) Radikal, güneş ışığının su buharına çarpmasıyla meydana gelir. H_2O ’daki O—H bağı kırılmak için gerekli olan maksimum dalga boyunu nanometre cinsinden hesaplayınız.

- 9.122 Deneyler, metandaki (CH_4) tüm bağları kırmak için 1656 kJ/mol, propandaki (C_3H_8) tüm bağları kırmak için 4006 kJ/mol enerji gerektiğini göstermektedir. Bu bilgilere dayanarak C—C bağının ortalama bağ enerjisini hesaplayınız.
- 9.123 Aşağıda gösterilen, karbon monoksit ve hidrojen arasındaki tepkimenin 25°C ’de $\Delta H_{\text{tep}}^\circ$ değerini, bağ entalpisi ve $\Delta H_{\text{ol}}^\circ$ verilerini kullanarak hesaplayınız.



- 9.124 Bağ enerjisi ve $\Delta H_{\text{ol}}^\circ$ değerlerini kullanarak aşağıda gösterilmiş olan etilen ve klor arasındaki tepkimenin 25°C ’de $\Delta H_{\text{tep}}^\circ$ değerini hesaplayınız. ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ için $\Delta H_{\text{ol}}^\circ = -132$ kJ/mol.)



- 9.125 Kükürt dioksitin (SO_2) üç rezonans yapısını çizin. En uygun yapı ya da yapıları gösteriniz.
- 9.126 Etilen (C_2H_4), bir Cl atomunun H atomlarından biriyle yer değiştirdiği vinil klorürden ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$) farklıdır. Vinil klorür ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$), boru yapımında kullanılan ve önemli bir polimer olan polivinil klorürün (PVC) elde edilmesinde kullanılır. (a) Vinil klorürün Lewis yapısını yazınız. (b) Poli (vinil klorür) ün tekrarlanan birimi $-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$ dir. Molekülün bu şekilde üç tekrarlanan birimini çizin. (c) 1.03×10^3 kg vinil klorür, poli (vinil klorür) oluşturmak üzere tepkimeye girdiğinde entalpi değişimi ne olur, hesaplayınız.

- 9.127 1998’de özel bir elektron mikroskopu kullanan bilim insanları tekli bir kimyasal bağı kırmak için gerekli olan kuvveti ölçebildiler. C—Si bağı kırılmak 2.0×10^{29} N kuvvet gerektiriyorsa, bağ enerjisini kJ/mol olarak bulunuz. Kırılmadan önce bağın 2 \AA ($2 \times 10^{-10} \text{ m}$) uzaklıkta gerildiğini varsayınız.

- 9.128 Amerikalı kimyacı Robert S. Mulliken bir elementin elektronegatifliği (EN) için farklı bir tanım öne sürdü. Buna göre:

$$\text{EN} = \frac{\text{IE} + \text{EA}}{2}$$

Bu eşitlikte IE, elementin birinci iyonlaşma enerjisi ve EA elektron ilgisidir. Yukarıdaki eşitliği kullanarak O, F ve Cl’un elektronegatifliklerini hesaplayınız. Bu elementlerin elektronegatifliklerini, Mulliken ve Pauling ölçeğini dikkate alarak karşılaştırmamız. (Pauling ölçeğine çevirmek için her bir EN değerini 230 kJ/mol değerine bölünüz.)

- 9.129 Bazı genel anestezikler şunlardır:

halotan: CF_3CHClBr

enfloran: $\text{CHFClCF}_2\text{OCHF}_2$

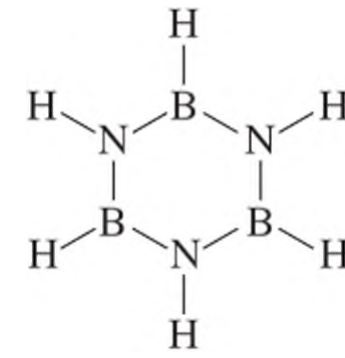
izofloran: $\text{CF}_3\text{CHClOCHF}_2$

metoksifloran: $\text{CHCl}_2\text{CF}_2\text{OCH}_3$

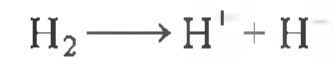
Bu moleküllerin Lewis yapılarını çizin.

- 9.130 Sınıfınızdaki bir öğrenci magnezyum oksitin Mg^{2+} ve O^{2-} iyonları yerine aslında Mg^+ ve O^- iyonlarından oluştuğunu iddia ediyor. Sınıf arkadaşınızın hatalı olduğunu gösteren bazı deneyler öneriniz.

- 9.131 Aşağıda, borazin ($\text{B}_3\text{N}_3\text{H}_6$) için bir iskelet yapısı verilmiştir. Formal yükleri ve tüm bağları gösteren iki rezonans yapısı çizin. Molekülün özelliklerini, onunla izoelektronik molekül olan benzenle karşılaştırmamız.



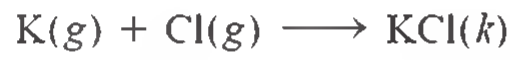
- 9.132 Aşağıda verilen tepkimeyi gerçekleştirmek için gerekli olan ışığın dalga boyunu hesaplayınız.



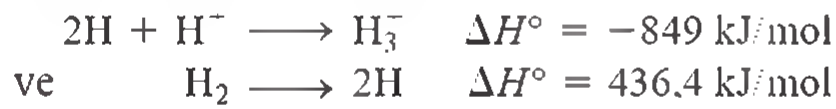
- 9.133 Sülfürik asit (H_2SO_4), kükürtün, kükürt dioksit daha sonra da kükürt trioksit yükseltgenmesiyle elde edilen dünyadaki en önemli endüstriyel kimyasaldır. Kükürt trioksit, sülfürik asit oluşturmak üzere su ile tepkime vermesine rağmen, su buharıyla yoğunlaşması zor olan ince damlacıklar halinde bir sis oluşturur. Bunun yerine kükürt trioksit oleum ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$) oluşturmak için önce %98’lik sülfürik asitte çözülür. Su ile muamele derişik sülfürik asiti

oluşturur. Tüm tepkime basamaklarını yazınız ve Örnek 9.11'deki tartışmayı dikkate alarak oleumun Lewis yapısını çizin.

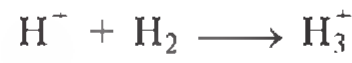
- 9.134** Çizelge 9.1'deki KCl'ün örgü enerjisi ile Çizelge 8.2 ve 8.3'deki K'un iyonlaşma enerjisi ve Cl'un elektron ilgisini kullanarak aşağıda verilen tepkime için ΔH° değerini hesaplayınız.



- 9.135 H_3^+ en basit çok atomlu bir iyonudur. İyonun geometrisi bir eşkenar üçgendir. (a) İyonu göstermek için üç rezonans yapısı çizin. (b) Aşağıda verilen şu bilgilerden:



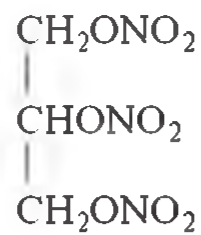
aşağıdaki tepkime için ΔH° değerini hesaplayınız.



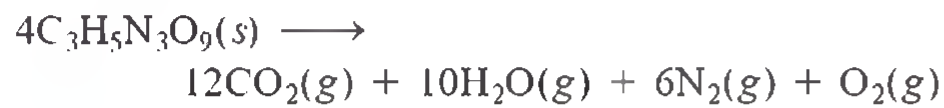
- 9.136** Proteinlerin amid grubundaki (bkz. Problem 9.81) C—N bağ enerjisi değeri, C=N ve C—N bağlarının bir ortalaması olarak alınabilir. Bu bağı kırmak için gerekli ışığın maksimum dalga boyunu hesaplayınız.

- 9.137 1999'da sadece azot içeren, alışılmadık bir katyon olan (N_5^+) elde edildi. İyonun formal yüklerini gösteren üç rezonans yapısını çizin. (*İpucu*: N atomları çizgisel biçimde birbirine bağlıdır.)

- 9.138** Nitrogliserin en yaygın kullanılan patlayıcılardan birisidir ve yapısı şu şekildedir:



Nitrogliserinin parçalanma tepkimesi:



Patlayıcı etkisi, açığa çıkan ısı ve gaz hacmindeki büyük artış sonucu olur. (a) Bağ entalpileri ve standart oluşum entalpisi değerlerinin her ikisini de kullanarak bir mol nitrogliserinin bozunmasındaki ΔH° değerini hesaplayınız. NO_2 'deki iki O atomunun N'a bir tekli ve bir ikili bağla bağlandığını varsayınız. (b) STP'de gazların toplam hacmini hesaplayınız. (c) Başlangıç patlama sıcaklığının 3000 K olduğunu varsayınız ve b şikkındaki sonucu kullanarak gazların uyguladığı basıncı bulunuz. (Nitrogliserinin standart oluşum entalpisi -371.1 kJ/mol 'dür.)

- 9.139 Verilen şu iyonik bileşiklerin tıbbi kullanımlarını kısaca belirtiniz. $AgNO_3$, $BaSO_4$, $CaSO_4$, KI , Li_2CO_3 , $Mg(OH)_2$, $MgSO_4$, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , NaF , TiO_2 , ZnO . Bu bileşiklerin bazıları için Web araştırmasına ihtiyacınız olabilir.

- 9.140** C_2H_6 , N_2H_4 ve H_2O_2 'deki sırasıyla C—C, N—N ve O—O bağlarının bağ enerjilerini Çizelge 9.4'ü kullanarak belirleyiniz. Komşu atomlar üzerindeki ortaklanmamış elektron çiftlerinin belirli bağların kuvveti üzerine etkisi nasıldır?

- 9.141 İzole O^2 iyonu kararsızdır. Bu nedenle O iyonunun elektron ilgisini doğrudan ölçmek mümkün değildir. MgO 'in örgü enerjisini ve Born-Haber çevrimini kullanarak bu değeri nasıl hesaplayabileceğinizi gösteriniz. [Gerekli bilgi: $Mg(k) \rightarrow Mg(g)$ $\Delta H^\circ = 148 \text{ kJ/mol}$]

- 9.142** Klor molekülü 471.7 nm dalga boyundaki ışıkla uyarıldığında klor atomlarına ayrışır. Klor atomlarından birisi temel haldeyken, diğeri temel durumdan 10.5 kJ/mol daha yüksek enerjili olan uyarılmış hale geçer. Cl_2 molekülünün bağ enerjisi nedir?

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 9.143 Etan (C_2H_6) ile flor (F_2) arasındaki tepkime, C_2F_6 moleküllerinden çok CF_4 oluşturur. Bu durumu açıklayınız.

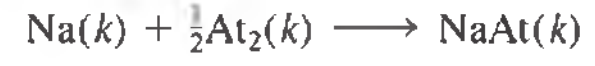
- 9.144 Oksijenin yeni bir allotropu (O_4) belirlenmiştir. O_4 'ün kesin yapısı bilinmemektedir. Bununla birlikte en basit olası yapının oksijen-oksijen tekli bağlarını içeren dört üyeli bir halka olabileceğidir. Küçük bir hacimde çok sayıda oksijen bulundurduğundan, O_4 molekülünün yakıt olarak kullanılabilirliği, çünkü bu molekülün roket yakıtında kullanılan sıvılaştırılmış sıradan oksijenden daha fazla enerji yoğunluğunda olabileceği iddia edilmiştir. (a) O_4

için Lewis yapısını çizin ve karbon dioksit ve su buharı oluşturan etan [$C_2H_6(g)$] ile $O_4(g)$ arasındaki tepkime için denkleştirilmiş kimyasal bir eşitlik yazınız. (b) Tepkimenin ΔH° değerini bulunuz. (c) $O_4(g)$ 'ün standart oluşum entalpisini gösteren bir kimyasal eşitlik yazınız ve ΔH°_{ol} değerini bulunuz. (d) Oksijen allotroplarının [$O_2(g)$ veya $O_4(g)$] ortamda aşırı olduğunu varsayarak, etan ya da diğer yakıtlarla tepkime verdiğinde hangisi daha fazla enerji açığa çıkarır? $O_2(g)$ mi yoksa $O_4(g)$ mü? (a)–(c) şıkları arasındaki cevaplarımızı kullanarak açıklayınız.

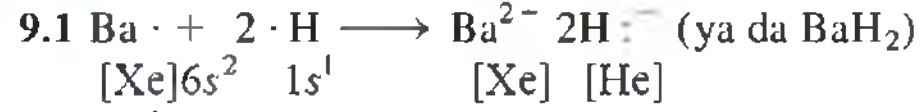
- 9.145 Bağ oluşumu ekzotermik olduğundan, iki gaz fazı atomu iki atomlu bir molekül oluşturmak için biraraya geldiğinde, açığa çıkan enerjiyi soğuracak olan üçüncü bir atom ya da moleküle gereksinim vardır. Aksi durumda molekül ayrışır. İki hidrojen atomu, $H_2(g)$ oluşturmak için birleşirse, bu tepkimede açığa

çıkacak enerjiyi soğuracak olan üçüncü bir hidrojen atomunun hızındaki artış ne olur?

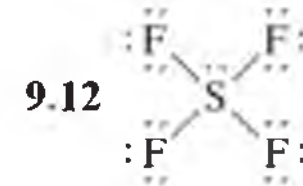
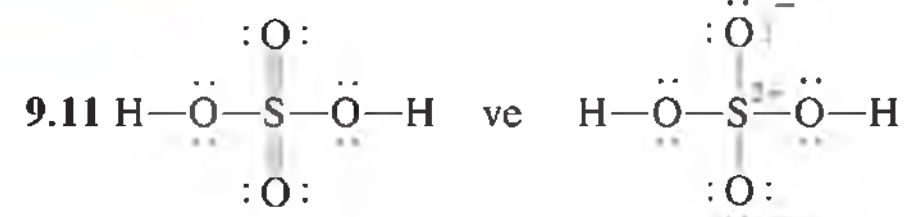
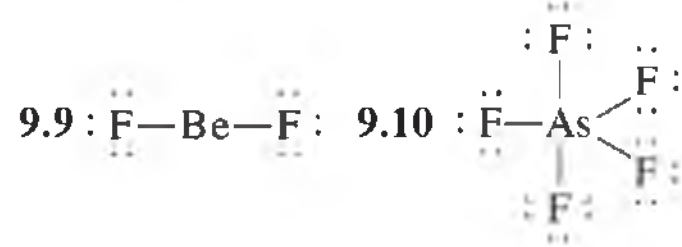
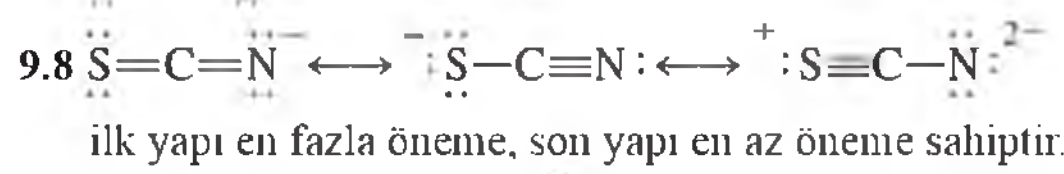
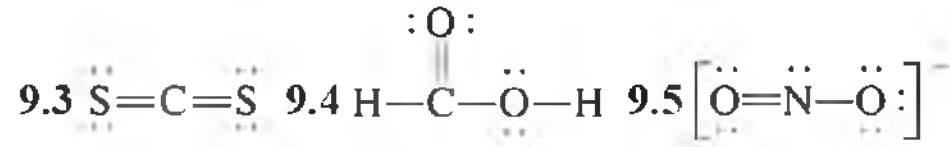
- 9.146 Aşağıda verilen tepkimeye göre sodyum astatit ($NaAt$) için ΔH_f° değerini bulunuz.



Alıştırmaların Cevapları



- 9.2 (a) İyonik, (b) polar kovalent, (c) kovalent.

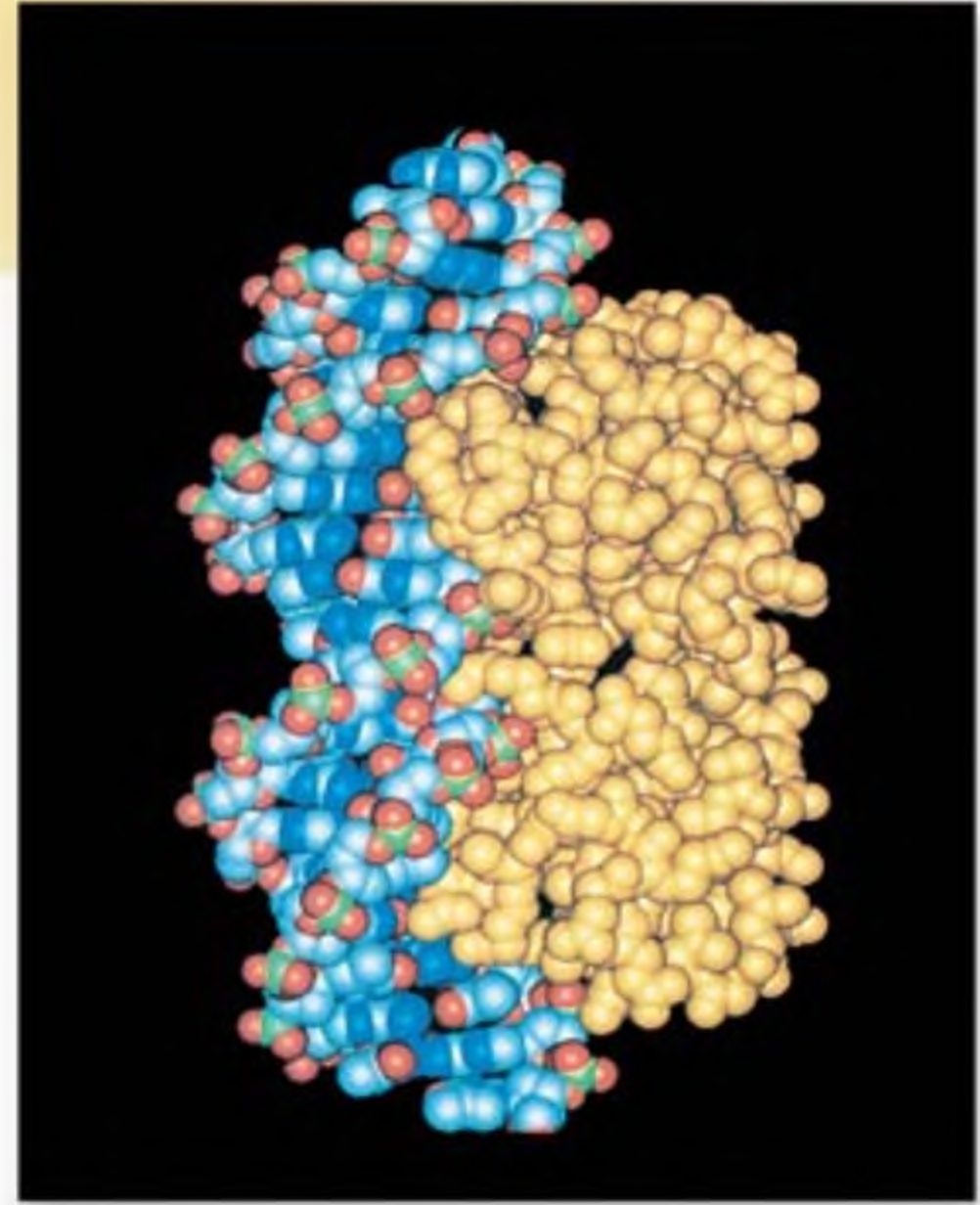


- 9.13 (a) -543.1 kJ/mol , (b) -543.2 kJ/mol .

- 9.14 (a) -119 kJ/mol , (b) -137.0 kJ/mol .

Kimyasal Bağlar II

Molekül Geometrisi ve Atom Orbitallerinin Melezleşmesi



Moleküllerin şekli, protein ve DNA molekülleri arasında olduğu gibi, karmaşık biyokimyasal tepkimelerde önemli bir rol oynar.

Bölüm Başlıkları

- 10.1 Molekül Geometrisi
- 10.2 Dipol Momentler
- 10.3 Değerlik Bağ Kuramı
- 10.4 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi
- 10.5 İkili ve Üçlü Bağlar İçeren Moleküllerde Molekül Geometrisi
- 10.6 Molekül Orbital Kuramı
- 10.7 Molekül Orbital Dağılımları
- 10.8 Delokalize Molekül Orbitaller

Toplu Bakış

- Bir molekülün geometrisi üzerine kimyasal bağların ve yalnız elektron çiftlerinin rolünü. VSEPR(10.1) modeli olarak adlandırılan basit bir yaklaşımı kullanarak inceleyeceğiz.
- Sonra molekülün bir dipol moment içerip içermediğini belirleyen faktörleri ve bu ölçümlerin molekül geometrisini belirleme çalışmalarında bize nasıl yardımcı olacağını öğreneceğiz (10.2).
- Daha sonra kimyasal bağ çalışmalarında, değerlik bağ kuramı (VB) olarak adlandırılan bir kuantum mekaniksel yaklaşıma öğreneceğiz. VB kuramı, atom orbitallerinin örtüşmesi temelinde kimyasal bağların nasıl ve neden oluştuğunu açıklamaktadır. (10.3)
- Hem kimyasal bağ oluşumu hem de molekül geometrisini açıklamak için, atom orbitallerinin karışması ya da melezleşmesi kavramları temelinde VB yaklaşımının kullanımını göreceğiz. (10.4 ve 10.5)
- Kimyasal bağı açıklamak için molekül orbital (MO) kuramı adı verilen başka bir kuantum mekaniksel yaklaşımı inceleyeceğiz. MO kuramı, atom orbitallerinin örtüşmesiyle molekül orbitallerinin oluştuğunu göz önüne alır. Oksijen molekülünün paramanyetik olmasını MO kuramı açıklar. (10.6)
- Molekül orbital düzenlenişinin, Pauli dışarlama ilkesi ile Hund kuralının her ikisinin de uygulanmasıyla yazılan atom orbitallerinin yazılmasına benzer olduğunu göreceğiz. Örnek olarak eşçekerdeki iki atomlu molekülleri kullanacağız. Molekül orbital düzenlenişinin, genel manyetik özelliklerin yanı sıra, bir kimyasal bağın kuvveti hakkında da bilgi verebileceğini öğreneceğiz. (10.7)
- Molekül orbital oluşumu kavramı, üç ya da daha çok atom içeren delokalize molekül orbitallerine de genişletilebilir. Bu delokalize molekül orbitallerinin, benzen gibi moleküllere fazladan bir kararlılık kazandırdığını da göreceğiz. (10.8)

Bağ oluşumunu Lewis kuramı temelinde 9.Bölümde incelemiştik. Burada moleküllerin şekli ya da geometrisini inceleyeceğiz. Geometrinin, moleküllerin yoğunluk, erime noktası, kaynama noktası ve kimyasal etkinlik gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine önemli etkisi vardır. Lewis yapılarını esas alarak, basit bir yöntemle, moleküllerin şeklini büyük bir doğrulukla nasıl öngörebileceğimizi göreceğiz.

Lewis kuramı kimyasal bağlanmayı açıklamada faydalı ve uygulamada kolay olmasına rağmen, bağın nasıl ve neden oluştuğunu açıklayamaz. Bağ oluşumunun tam açıklaması kuantum mekaniği ile yapılır. Bu yüzden, moleküllerin geometrilerini ve kararlılıklarını incelemek için, bu konunun ikinci kısmında kuantum mekaniğini kullanacağız.

10.1 Molekül Geometrisi

Molekül geometrisi, bir moleküldeki atomların üç boyutlu düzenlenmesi ile verilir. Molekül geometrisi, erime noktası, kaynama noktası, yoğunluk gibi fiziksel özellikler ile molekülün yer aldığı tepkime tipi gibi kimyasal özellikleri etkiler. Genellikle, moleküldeki bağ uzunlukları ve bağ açıları deneysel olarak belirlenir. Bununla birlikte, molekül ya da iyonun Lewis yapısında merkez atom çevresindeki elektronların sayısı bilinirse, molekül geometrisi tahmin edilebilir. Bu yaklaşım, atomun değerlik kabuğundaki elektronlarının birbirini itmesi temeline dayanır. *Değerlik kabuğu atomun elektron bulunan en dış kabuğudur ve genellikle bağ oluşturmada kullanılan elektronları barındırır.* Kovalent bağ oluşturan elektron çifti genellikle bağlayıcı çift olarak adlandırılır ve iki atomun bir arada tutulmasını sağlar. Ancak, çok atomlu bir molekülde (merkez ve çevre atomları arasında birden çok bağı olan molekülde) farklı bağlayıcı elektron çiftleri arasındaki itme, atomların olabildiğince birbirinden uzak konumlanmalarına neden olur. Sonuçta molekül geometrisi itmeleri en aza indirecek şekilde olmalıdır. *Merkez atom etrafındaki elektron çiftlerinin geometrik düzenlenmesi elektrostatik itme temeline dayandığından, molekül geometrisini belirlemek için yapılan bu yaklaşıma **değerlik kabuğu elektron-çifti itme (VSEPR) modeli** denir.*

VSEPR modelinin kullanımı iki genel kurala dayanır:

1. Sadece elektron çifti itmeleri gözönünde alındığında, ikili ve üçlü bağlar tek bağmış gibi düşünülebilir. Böyle düşünmek nitel hedefler için faydalıdır. Ancak, çoklu bağların tekli bağlardan daha “büyük” olduğunu, yani iki atom arasında ikili ya da üçlü bağ olduğunda elektron yoğunluğunun daha çok yer işgal ettiği gerçeğini de bilmeliyiz.
2. Eğer bir molekülün iki ya da daha çok rezonans yapısı varsa, bunlardan istediğimiz herhangi birine VSEPR modelini uygulayabiliriz. formal yükler genellikle gösterilmez.

VSEPR modeli kullanarak, moleküllerin veya iyonların geometrilerini sistematik bir yolla tahmin edebiliriz. Bunu gerçekleştirirken, merkez atomları, yalnız elektron çiftleri taşıyıp taşımadıklarına göre ikiye ayırmamız gerekir.

Yalnız Elektron Çiftleri Bulunmayan Merkez Atomunlu Moleküller

Anlamayı kolaylaştırmak için merkez atomu A olan, A ve B gibi sadece iki elementten oluşan molekülleri gözönüne alalım. Bu moleküller AB_x genel formülüyle gösterilebilir. Burada x , 2, 3, . . . gibi bir tamsayıdır (Eğer $x = 1$ ise iki atomlu AB moleküldür ve çizgisel bir geometridir). Ancak, çoğu durumlarda, x , 2 ile 6 arasındadır.

“Merkez atom” terimi, çok atomlu bir molekülde uç atom olmayan bir atom demektir.

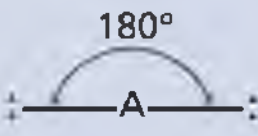
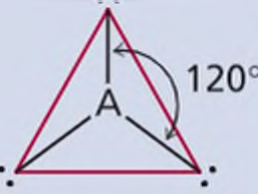
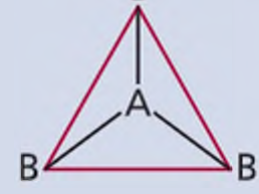
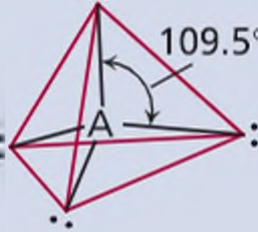
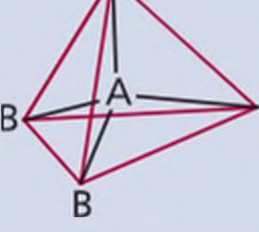
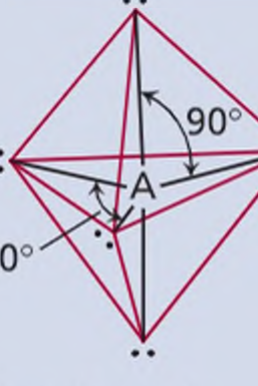
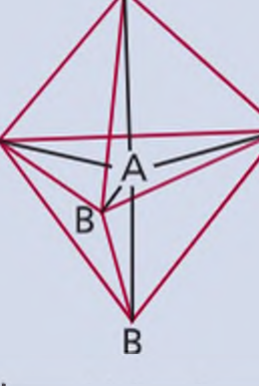


VSEPR, “vesper” diye okunur.

Animasyon
VSEPR

Animasyon
VSEPR Kuramı

Çizelge 10.1

Bir Molekülde Merkez Atom (A) Etrafında Elektron Çiftlerinin Düzenlenimi ve Merkez Atomunda Yalın Elektron Çifti Olmayan Bazı Basit Molekül ve İyonların Geometrilere

Elektron çiftlerinin sayısı	Elektron çiftlerinin düzenlenmesi*	Molekül geometrisi*	Örnekler
2	 <p>180°</p> <p>Çizgisel</p>	<p>B—A—B</p> <p>Çizgisel</p>	BeCl ₂ , HgCl ₂
3	 <p>120°</p> <p>Düzlem üçgen</p>	 <p>Düzlem üçgen</p>	BF ₃
4	 <p>109.5°</p> <p>Dört yüzlü</p>	 <p>Dört yüzlü</p>	CH ₄ , NH ₄ ⁺
5	 <p>90°</p> <p>120°</p> <p>Üçgen bipiramit</p>	 <p>Üçgen bipiramit</p>	PCl ₅
6	 <p>90°</p> <p>90°</p> <p>Sekiz yüzlü</p>	 <p>Sekiz yüzlü</p>	SF ₆

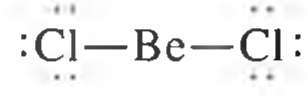
*Renkli çizgiler sadece toplam şekli göstermek için kullanılmakta olup bağları göstermez.

Çizelge 10.1 elektron çiftlerinin merkez atomu etrafındaki 5 olası düzenini gösterir. Karşılıklı itmenin bir sonucu olarak, elektron çiftleri, birbirinden olabildiğince uzak durur. Çizelgenin, merkez atomu etrafındaki atomların konumlarını değil, elektron çiftlerinin düzenlenmesini gösterdiğine dikkat ediniz. Merkez atomunda yalın elektron çifti olmayan moleküller, bu beş bağlayıcı çift düzeninden birine sahip ola-

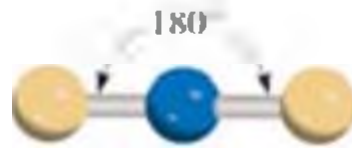
bilir. Çizelge 10.1'i temel alarak, AB_2 , AB_3 , AB_4 , AB_5 ve AB_6 formüllerindeki moleküllerin geometrilerini inceleyelim.,

AB_2 : Berilyum Klorür ($BeCl_2$)

Gaz fazında berilyum klorürün Lewis yapısı şöyledir:



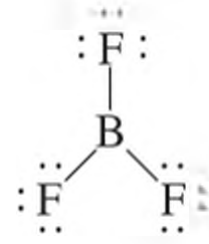
Bağlayıcı elektron çiftleri birbirini ittiğinden ve nihai molekül geometrisinde itme kuvvetleri en az olması gerektiğinden, bu çiftler birbirinden olabildiğince uzak olmalı, yani doğrunun zıt uçlarında yer almalıdırlar. Bu yüzden, $ClBeCl$ açısı 180° dir ve molekül çizgiseldir. (Çizelge 10.1'e bakınız.). $BeCl_2$ 'ün top-çubuk modeli aşağıda gösterilmiştir.



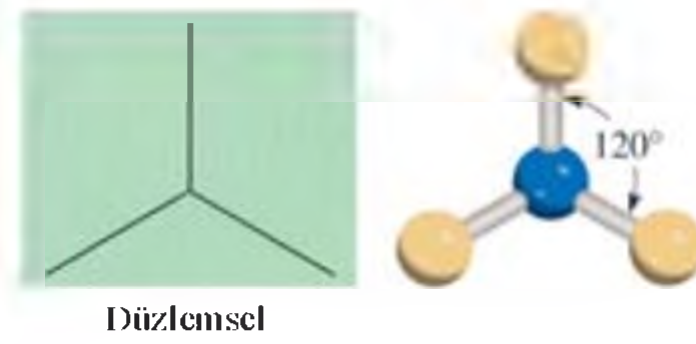
Mavi ve sarı küreler atomları gösterir

AB_3 : Bor Triflorür (BF_3)

Bor triflorür üç kovalent bağ ya da üç bağlayıcı çift içerir. Bu melekülün en kararlı düzenlenimi, üçgenin merkezinde B olmak üzere üç BF bağının bir eşkenar üçgenin köşelerine doğru olduğu düzenlenmedir.



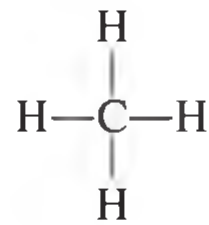
Çizelge 10.1'e göre BF_3 'ün geometrisi *düzlem üçgendir*. Çünkü üç tane uç atom bir eşkenar üçgenin köşelerinde ve aynı düzlemedirler.



Buna göre, FBF açılarının üçü de 120° dir ve dört atom da aynı düzlemedir.

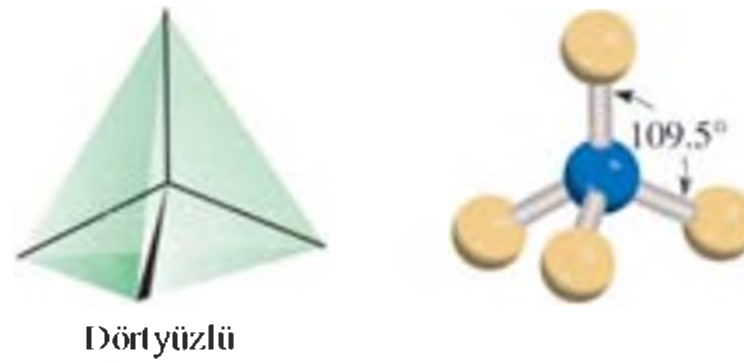
AB_4 : Metan (CH_4)

Metanın Lewis yapısı aşağıdaki gibidir.



Dört elektron çifti nedeniyle, CH_4 geometrisi dört-yüzlüdür (Çizelge 10.1'e bakınız.). *Dört-yüzlünün* dört yüzü vardır ve bunların her biri birer eşkenar üçgendir. Dört-yüzlü

bir molekülde, merkez atom (burada C) dörtyüzlülüğün merkezinde, diğer dört atom ise köşelerinde yer alır. Bağ açılarının hepsi $109,5^\circ$ dir.

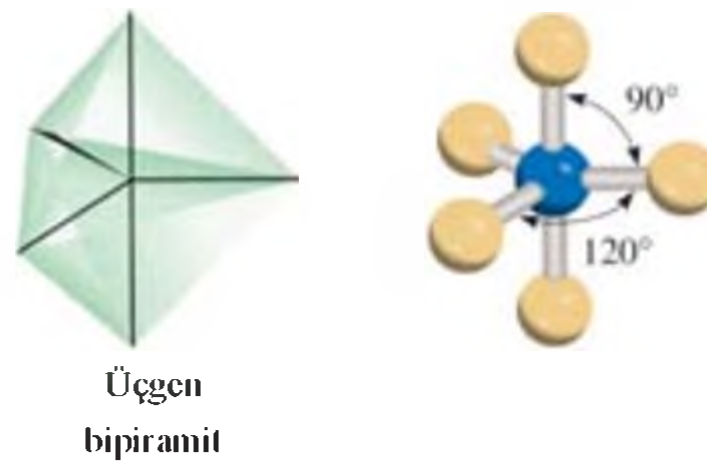


AB₅: Fosfor Pentaklorür (PCl₅)

Fosfor pentaklorürün Lewis yapısı (gaz fazında) şöyledir:



Beş bağlayıcı çift arasındaki itme kuvvetlerini en aza indirmenin tek yolu, PCl bağlarının bir üçgen bipyramit şeklinde düzenlenmesidir (Çizelge 10.1'e bakınız.). Bir üçgen bipyramit, ortak bir üçgen tabanından iki dörtyüzlülüğün birleştirilmesiyle oluşturulabilir.



Merkez atom (burada P) ortak üçgenin merkezinde, çevreleyen atomlar ise üçgen bipyramitin beş köşesinde yer alır. Üçgen düzlemin üzerinde ve altındaki atomlar *aksiyal* konumları, üçgen düzlemde yer alanlar ise *ekvatoryal* konumları işgal ederler. Ekvatoryal konumlar arasındaki her açı 120° dir. Bir aksiyal ile bir ekvatoryal bağ arasındaki açı 90° , iki aksiyal bağ arasındaki açı ise 180° dir.

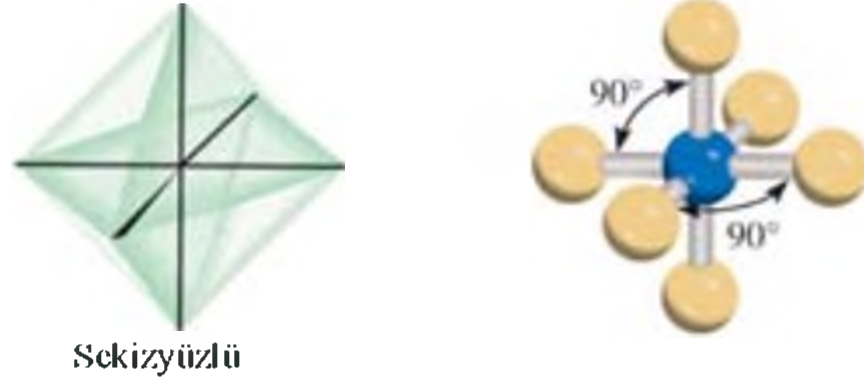
AB₆: Kükürt Hekzaflorür (SF₆)

Kükürt hekzaflorürün Lewis yapısı şöyledir:



Yapıdaki altı SF bağlayıcı çiftin en kararlı konumlanma şekli, Çizelge 10.1'de görüldüğü gibi sekizyüzlü şeklidir. Bir sekizyüzlü yapının sekiz yüzü vardır ve iki kare piramitin ortak tabanda birleşmesiyle elde edilir. Merkez atom (burada S) bu ortak karenin merkezinde, köşelerde ise uç atomlar yer alır. Merkez atomla çapsal olarak birbirinin karşısında olan atom çiftleri arasındaki açı hariç, diğer tüm açılar 90° dir. Çapsal

olarak birbirinin karşısında olan atom çiftleri arasındaki açı ise 180° dir. Bir sekiz-yüzlü molekülde altı bağ da eşdeğer olduğu için, üçgen bipyramit molekülde olduğu gibi “aksiyal” ve “ekvatoryal” terimlerini kullanamayız.



Yalın Elektron Çiftleri Bulunan Merkez Atomlu Moleküller

Merkez atomunda hem yalın hem de bağlayıcı elektron çiftleri içeren bir molekülün geometrisinin belirlenmesi çok daha karmaşıktır. Böyle moleküllerde, bağlayıcı elektron çiftleri arasında, yalın elektron çiftleri arasında ve bağlayıcı ile yalın elektron çiftleri arasında olmak üzere üç tip itme kuvveti vardır. VSEPR modeline göre, bu itme kuvvetleri genel olarak aşağıdaki sıraya göre azalır.

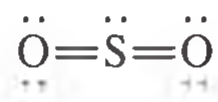
Yalın elektron çifti ile > yalın elektron çifti ile bağ- > bağlayıcı elektron çifti ile
yalın elektron çifti itmesi layıcı elektron çifti itmesi bağlayıcı elektron çifti itmesi

Bir bağda elektronlar, bağ yapmış iki atomun çekirdeklerince uygulanan çekme kuvvetleriyle bir arada tutulurlar. Bu bağ yapan elektronlar uzayda yalın elektronlardan daha az yer kaplarlar. Çünkü atomlar tarafından çekilirler. Moleküldeki yalın elektronlar uzayda daha çok yer kapladıklarından, komşu yalın ve bağlayıcı çiftlerin itme kuvvetlerine daha çok maruz kalırlar. Bağlayıcı ve yalın çiftlerin toplam sayısını belirtmek için, yalın elektron çiftleri olan moleküller AB_xE_y şeklinde gösterilirler. Burada A merkez atomu, B uç atomu, E ise A üzerindeki bir yalın elektron çiftini gösterir. x ve y ise tamsayı olup $x = 2, 3, \dots$ ve $y = 1, 2, \dots$ dir. Böylece x ve y değerleri merkez atomun uç atomlarını ve yalın çiftlerin sayısını gösterirler. Buna örnek verilebilecek en basit molekül, merkez atomu üzerinde bir tane yalın çifti olan, üç atomlu bir moleküldür. Bu molekül AB_2E formülüyle gösterilir.

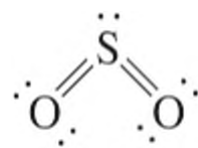
Aşağıda verilen örneklerde görüleceği gibi, merkez atomu üzerinde yalın elektron çifti olan moleküllerin bağ açılarını doğru olarak tahmin etmek genellikle zordur.

AB_2E : Kükürt Dioksit (SO_2)

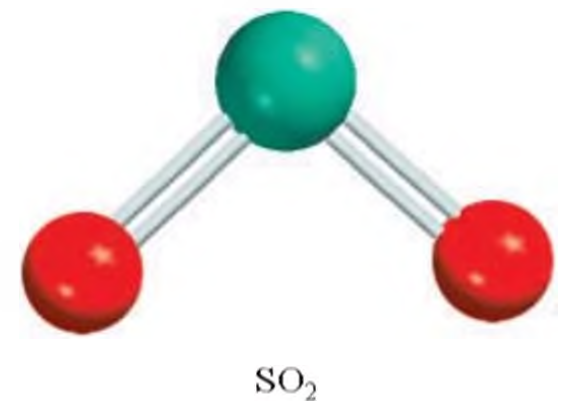
Kükürt dioksitin Lewis yapısı şöyledir:



VSEPR modeli çift bağları tek bağmış gibi gözönüne aldığından, SO_2 molekülü merkez S atomu üzerinde üç elektron çifti içeren bir molekül olarak düşünülür. Bunlardan ikisi bağlayıcı, bir tanesi de yalın çifttir. Çizelge 10.1'den üç elektron çifti için toplam düzenlenimi düzlem üçgen olarak görürüz. Ancak, elektron çiftlerinden biri yalın olduğu için SO_2 molekülü “kırık çizgi” şeklindedir.



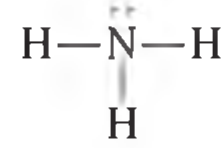
$x = 1$ için, tanım olarak doğrusal geometriye sahip iki atomlu bir moleküle sahip oluruz.



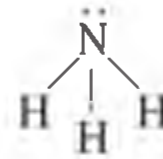
Yalın çift ile bağlayıcı çift itmesi, bağlayıcı çiftler arasındaki itmeden daha büyük olduğu için, iki kükürt-oksijen bağı yalın çift tarafından biraz daha fazla itilir ve OSO bağ açısı 120° den daha küçük olur.

AB₃E: Amonyak (NH₃)

Amonyak molekülü, üç bağlayıcı ve bir yalın çift içerir.



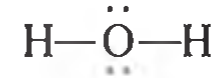
Çizelge 10.1'de görüldüğü gibi dört elektron çiftinin toplam düzenlenimi dörtyüzlüdür. Ancak, NH₃'de elektron çiftlerinden biri yalın çift olduğundan, NH₃ geometrisi üçgen piramittir (tepesinde N atomu olan bir piramite benzediği için böyle adlandırılır). Yalın çiftler, bağlayıcı çiftleri daha kuvvetle ittiklerinden üç NH bağlayıcı çiftleri itilerek birbirine yaklaşır.



Bu yüzden amonyaktaki HNH açısı, ideal dörtyüzlü açı olan $109,5^\circ$ den daha küçüktür (Şekil 10.1).

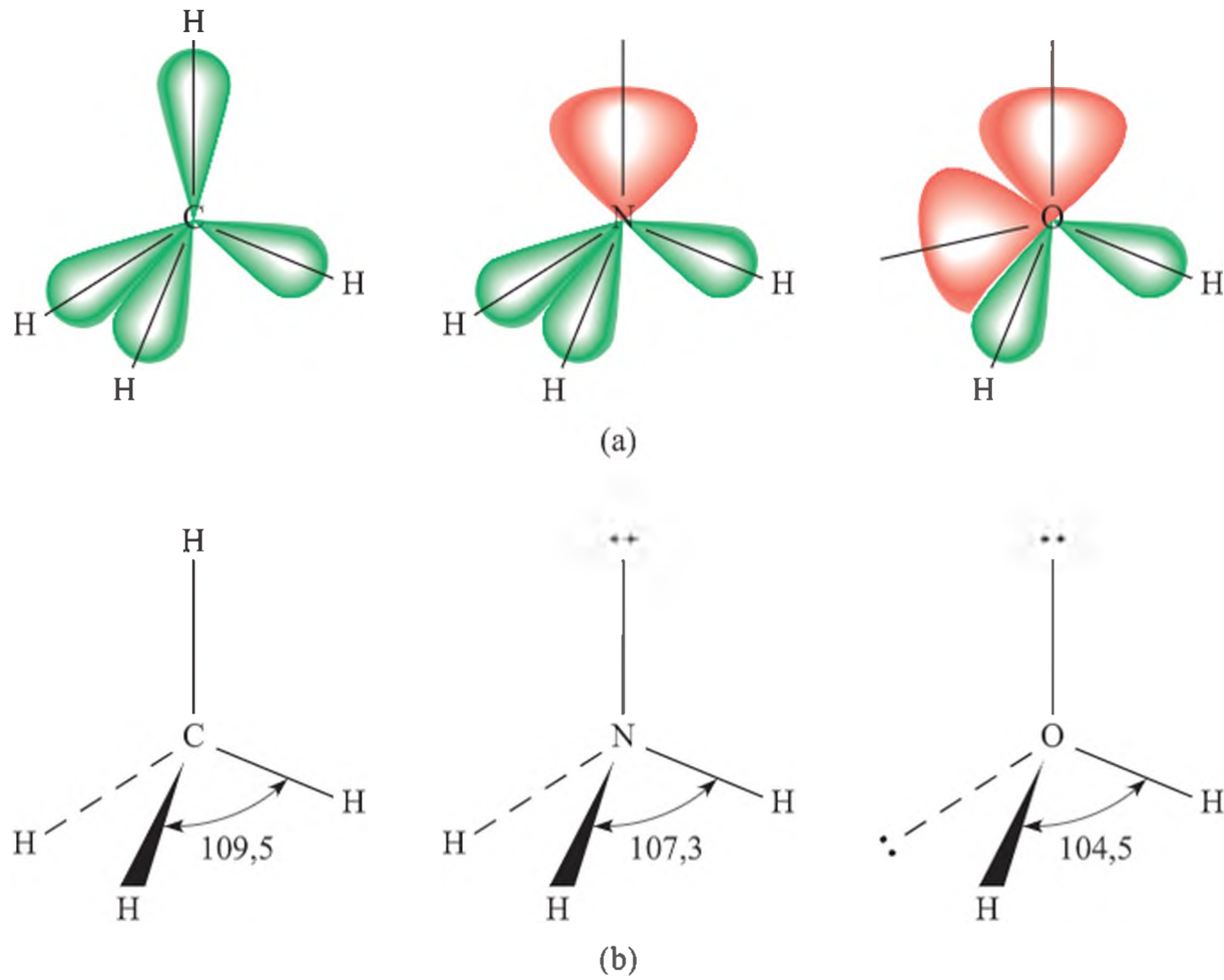
AB₂E₂: Su (H₂O)

Su molekülü iki bağlayıcı ve iki yalın elektron çifti içerir.

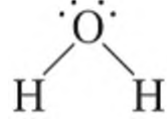


Suda dört elektron çiftinin toplam düzenlenimi amonyakta olduğu gibi dörtyüzlüdür. Ancak, amonyaktan farklı olarak suyun O atomu üzerinde iki tane yalın elektron çifti vardır. Bu yalın çiftlerin itme kuvvetleri çok olduğu için birbirinden olabildiğince uzak

Şekil 10.1 (a) CH₄, NH₃ ve H₂O'da bağlayıcı ve yalın elektron çiftlerinin göreceli büyüklükleri. (b) CH₄, NH₃ ve H₂O'da bağ açıları. Kesikli çizgilerin kağıt düzleminin arkasına doğru yönelmiş bir bağı, kama şeklindeki çizgilerin ise kağıt düzleminin önüne doğru yönelen bir bağı gösterdiğine dikkat ediniz.



durma eğilimindedirler. Sonuç olarak, iki OH bağlayıcı çifti birbirine doğru itilir ve dörtyüzlü açıdan sapma NH_3 'de olduğundan daha fazladır. Şekil 10.1'in gösterdiği gibi HOH açısı 104.5° dir. H_2O 'nun geometrisi "kırık çizgi" dir.

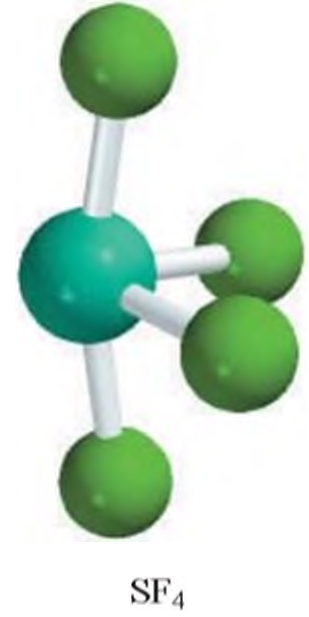
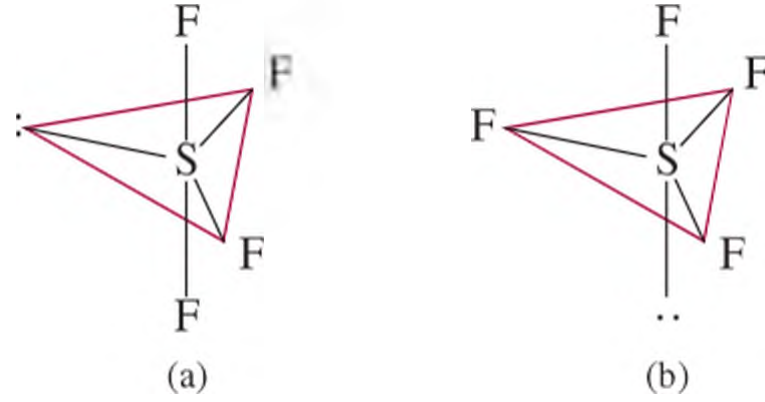


AB₄E: Kükürt Tetraflorür (SF₄)

SF₄'ün Lewis yapısı şöyledir:



Merkez kükürt atomunun beş elektron çifti vardır ve Çizelge 10.1'e göre düzenlenimi üçgen bipiramittir. Ancak, SF₄ molekülünde elektron çiftlerinden biri yalnız çifttir, bu yüzden molekül aşağıdaki geometrilerden birine sahip olmalıdır:

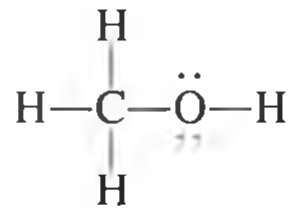


(a)'da yalnız çift ekvatoryal konumda iken (b)'de aksiyal konumdadır. Aksiyal konumdaki yalnız elektron çifti üç komşu bağlayıcı çifte 90° birisine ise 180° açıyla yönelmişken, ekvatoryal konumdaki yalnız elektron çifti iki komşu bağlayıcı çifte 90° ve diğer ikisine 120° ile yönelmiştir. Buna göre itme kuvvetleri (a)'da daha azdır ve deneysel olarak gözlenen yapı da budur (a). Bu geometrik yapı bazen tahteravalli olarak da tanımlanır (yapıyı saat yönünde 90° çevirerek bakınız). Aksiyal F atomları ile S arasındaki açı 173° , ekvatoryal F atomları ile S arasındaki açı ise 102° dir.

Çizelge 10.2 burada incelemediğimiz yapıları da kapsayan, merkez atomu bir ya da daha çok yalnız çiftleri içeren basit moleküllerin geometrilerini gösterir.

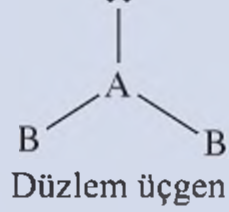
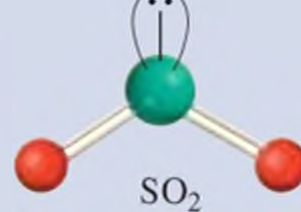

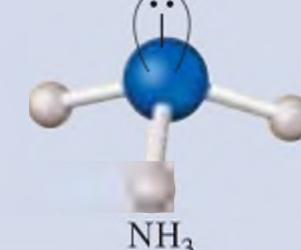
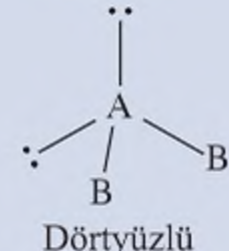
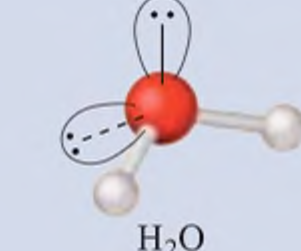
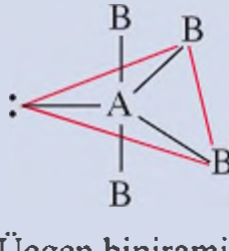

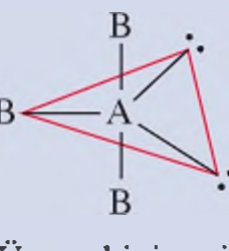
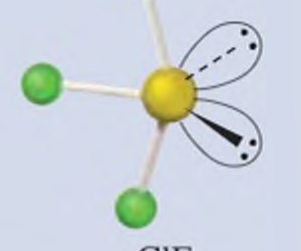
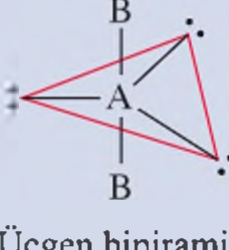
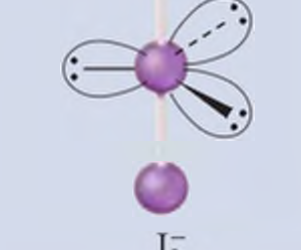
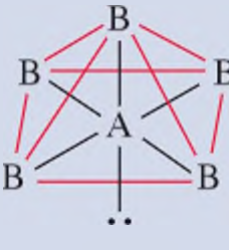
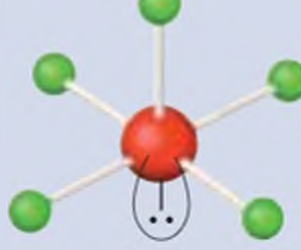

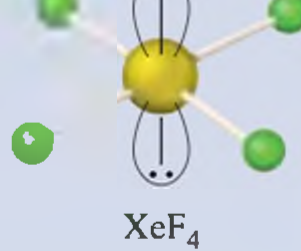
Birden Çok Merkez Atomu Olan Moleküllerin Geometrisi

Şimdiye kadar sadece bir tane merkez atomu bulunan moleküllerin geometrilerini inceledik. Birden çok merkez atomu bulunan moleküllerin toplam geometrisini belirlemek çoğu kez zordur. Ancak, böyle bir yapıda merkez atomlarının herbiri etrafındaki geometriyi kolaylıkla belirleyebiliriz. Örneğin, metanol yani CH_3OH 'ü göz önüne alalım. Lewis yapısı şöyledir:



Metanolde bulunan iki merkez atom (uç olmayan) C ve O'dur. Üç tane CH ve bir CO bağlayıcı çiftin C atomu etrafında dörtyüzlü düzenlendiğini söyleyebiliriz. HCH ve

Çizelge 10.2**Merkez Atomunda Bir ya da Daha Çok Yalın Çift Bulunan Basit Moleküllerin ve İyonların Geometrisi**

Molekülün Sınıfı	Elektron Çiftlerinin Toplam Sayısı	Bağlayıcı Çiftlerin Sayısı	Yalın Çiftlerin Sayısı	Elektron Çiftlerinin Düzenlenimi*	Molekül ya da İyonun Geometrisi	Örnekler
AB_2E	3	2	1	 Düzlem üçgen	Açısal	 SO_2
AB_3E	4	3	1	 Dörtüzlü	Üçgen piramit	 NH_3
AB_2E_2	4	2	2	 Dörtüzlü	Açısal	 H_2O
AB_4E	5	4	1	 Üçgen bipiramit	Bozuk dörtüzlü (ya da tahteravalli)	 SF_4
AB_3E_2	5	3	2	 Üçgen bipiramit	T-şekli	 ClF_3
AB_2E_3	5	2	3	 Üçgen bipiramit	Doğrusal	 I_3^-
AB_5E	6	5	1	 Sekizyüzlü	Kare piramit	 BrF_5
AB_4E_2	6	4	2	 Sekizyüzlü	Düzlem kare	 XeF_4

** Renkli çizgiler toplam şekli göstermek için kullanılır, bağları göstermez.

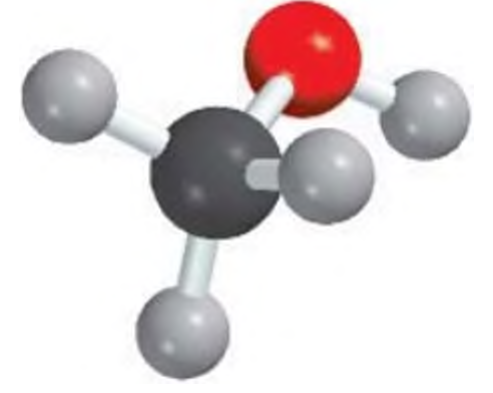
OCH bağ açıları yaklaşık 109° dir. Burada O atomu iki yalın çift ve iki bağlayıcı çiftle sahip olup bu kısım sudaki yapıya benzer. Bu yüzden, molekülün HOC kısmı eğiktir ve HOC açısı yaklaşık 105° ye eşittir (Şekil 10.2).

VSEPR Modelini Uygulama Kuralları

Molekül geometrilerini, merkez atomunda yalın elektron çifti içerip içermemesine göre, iki sınıfa ayırarak VSEPR modelini tüm moleküllere uygulayabiliriz.

1. Yalnızca merkez atomun (birden fazla atoma bağlı atom) etrafındaki elektron çiftlerini gözönüne alarak, molekülün Lewis yapısını yazınız.
2. Merkez atom etrafındaki elektron çiftlerini (bağlayıcı çiftler ile yalın çiftler) sayınız. Bunu yaparken ikili ve üçlü bağları tek bağ gibi düşünelim. Elektron çiftlerinin toplam düzenlenimini öngörmek için Çizelge 10.1'e bakınız.
3. Çizelge 10.1 ve 10.2'yi kullanarak molekülün geometrisini öngörünüz.
4. Bağ açılarını öngörmek için, bir yalın çiftin başka bir yalın çifti ya da bağlayıcı çifti, bağlayıcı çiftin başka bir bağlayıcı çifti itmesinden çok daha büyük kuvvetle ittiğine dikkat ediniz. Merkez atom bir ya da daha fazla yalın çift içerdiğinde, bağ açılarını doğru tahmin etmenin kolay olmadığını unutmayınız.

VSEPR modeli birçok molekülün geometrisini güvenilir olarak öngörür. Kimyacılar VSEPR yaklaşımını basitliğinden dolayı oldukça sık kullanırlar. "Elektron-çifti itmesi"nin gerçekten molekül geometrisini belirlemede yeterli olup olmadığına dair bazı kuramsal şüpheler olmasına karşın, bu yaklaşım ile güvenilir tahminler yapılabilmektedir. Genel Kimya düzeyinde başka bir model arayışına gerek yoktur. VSEPR'nin uygulaması Örnek 10.1'de gösterilmektedir.



Şekil 10.2 CH_3OH molekülünün geometrisi.

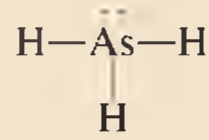
Örnek 10.1

VSEPR modelini kullanarak, verilen şu molekül ve iyonların geometrisini öngörünüz: (a) AsH_3 , (b) OF_2 , (c) AlCl_4^- , (d) I_3^- , (e) C_2H_4 .

İzlenecek Yol Molekül geometrisini belirlemede izlenecek basamaklar şöyledir:

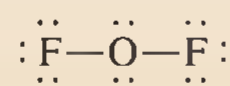
Lewis yapısını çiziniz \longrightarrow elektron çiftlerinin düzenlenimini bulunuz \longrightarrow bağlayıcı çiftlerin düzenlenimini bulunuz \longrightarrow bağlayıcı çiftleri esas alarak geometriyi belirleyiniz

Çözüm (a) AsH_3 'ün Lewis yapısı

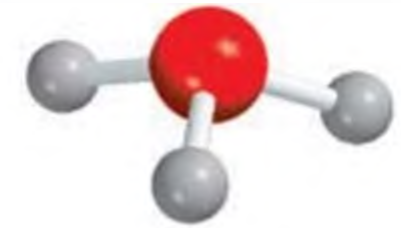


Merkez atomu etrafında dört elektron çifti olduğu için elektron çifti düzenlenimi dörtyüzlüdür (Çizelge 10.1'e bakınız). Bir molekülün geometrisinin atomların düzenlenişi ile belirlendiğini hatırlayalım (burada As ve H atomları). Bu yüzden yalın elektron çiftini gözönüne almazsak, üç bağlayıcı çift bize, NH_3 gibi bir üçgen piramit yapı verecektir. HAsH açısını tam olarak öngöremeyiz, fakat 109.5° 'den küçük olacağını biliriz. Bunun sebebi As üzerindeki yalın elektron çiftinin As—H bağlarındaki bağlayıcı elektron çiftlerini, bağlayıcı çiftler arasındaki itmeden daha büyük bir kuvvetle itmesidir.

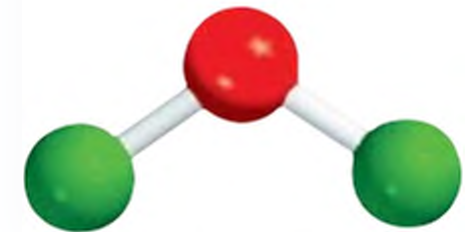
(b) OF_2 nin Lewis yapısı şöyledir:



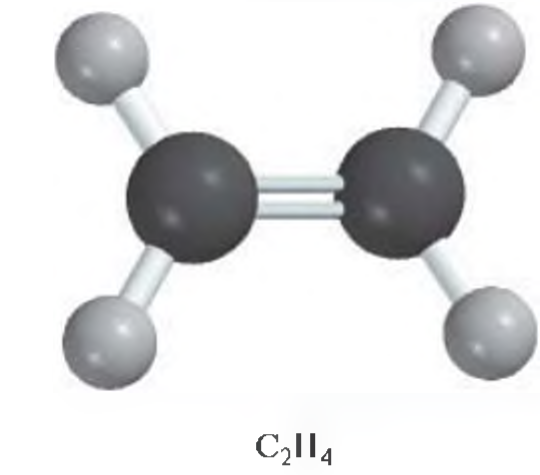
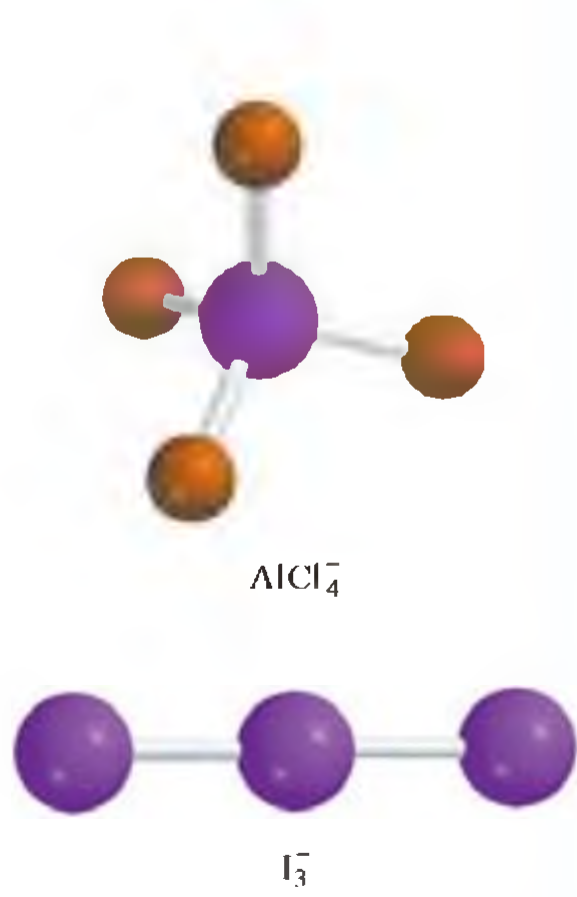
(Devamı)



AsH_3

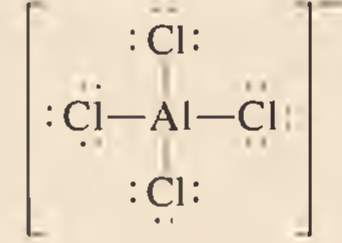


OF_2



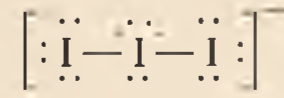
Merkez atomu etrafında dört elektron çifti vardır. Bu yüzden elektron çifti düzenlenimi dörtyüzlüdür (Çizelge 10.1'e bakınız). Bir molekül geometrisinin, sadece atomların düzenlenmesiyle oluştuğunu yineleyelim (Burada O ve F atomları). Buna göre, iki yalın elektron çiftini gözönüne almasaydık, iki bağlayıcı çift bize H_2O gibi açısall bir geometri verecekti. Biz FOF açısını kesin olarak bilemeyiz, ancak $109,5^\circ$ den daha küçük olacağını öngörebiliriz. Çünkü O üzerindeki yalın elektron çiftlerinin O—F bağlarındaki bağlayıcı çiftleri itmesinin bağlayıcı çiftler arasındaki itmeden daha büyük olduğunu biliyoruz.

(c) AlCl_4^- Lewis yapısı şöyledir:



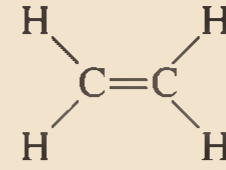
Merkez atomu etrafında dört elektron çifti bulunduğu için elektron çifti düzenlenimi dörtyüzlüdür. Yalın elektron çifti bulunmadığından, bağlayıcı çiftlerin düzenlenimi elektron çifti düzenlenimi ile aynıdır. Bu yüzden AlCl_4^- dörtyüzlü geometriye sahiptir. Bu durumda ClAlCl açılarının hepsi $109,5^\circ$ 'dir.

(d) I_3^- Lewis yapısı şöyledir:

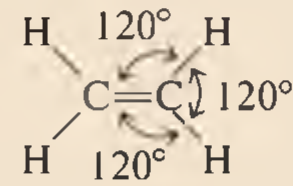


Merkez I atomu üzerinde beş elektron çifti bulunduğu için elektron çifti düzenlenimi üçgen bipiramittir. Bir üçgen bipiramitte yalın elektron çiftlerinin ekvatoriyal konumları tercih edeceğini anımsayalım (Çizelge 10.2'ye bakınız). Yalın elektron çiftlerini gözönüne almasaydık I_3^- için doğrusal bir geometri bulacaktık, yani üç I atomu da bir doğru üzerinde alacaktı.

(e) C_2H_4 Lewis yapısı:



$\text{C}=\text{C}$ bağı, VSEPR modelinde tek bağ olarak düşünülür. Buna göre her C atomu etrafında üç elektron çifti vardır ve yalın elektron çifti yoktur. Her bir C atomu etrafındaki düzenlenim, daha önce BF_3 molekülünde gördüğümüz gibi, düzlem üçgeni verir. Bu durumda C_2H_4 'deki bağ açılarının hepsi de 120° olarak öngörülür.

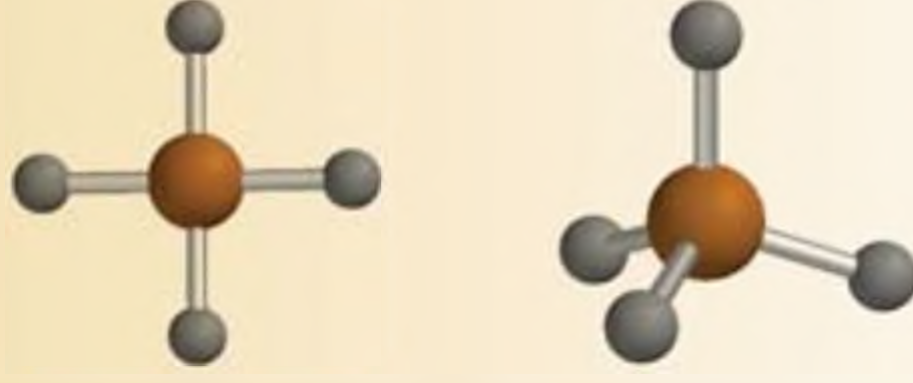


Yorum (1) I_3^- iyonu, merkez atomunda yalın elektron çifti içermesine rağmen bağ açısının 180° olduğu ender yapılardan biridir. Bu durumu yorumlayalım. (2) C_2H_4 'de altı atom da aynı düzlemde ve VSEPR modeli ile düzlemsel geometri öngörülemez, ancak molekülün neden düzlemsel geometriyi tercih ettiğini daha sonra göreceğiz. Gerçekten, açılar tam 120° değil fakat buna yakındır. Çünkü bağların hepsi eşdeğer değildir.

Alıştırma VSEPR modelini kullanarak (a) SiBr_4 , (b) CS_2 , ve (c) NO_3^- geometrilerini öngörünüz.

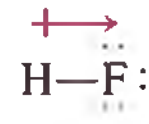
Kavramların Değerlendirilmesi

Kalay (IV) hidrür (SnH_4) için aşağıdaki geometrilerden hangisi daha kararlıdır?

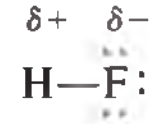


10.2 Dipol Momentler

Kesim 9.5’de hidrojen florürün polar kovalent bağlı bir bileşik olduğunu öğrendik. HF molekülünde H’den F’a doğru elektron yoğunluğu kayması sözkonusudur. Bunun nedeni, F atomunun H atomundan daha elektronegatif olmasıdır (Şekil 9.4’e bakınız.). Elektron yoğunluğu kayması, kaymanın yönünü de belirten kesikli bir oku (\rightarrow) Lewis yapının üzerine koyarak gösterilir. Örneğin:



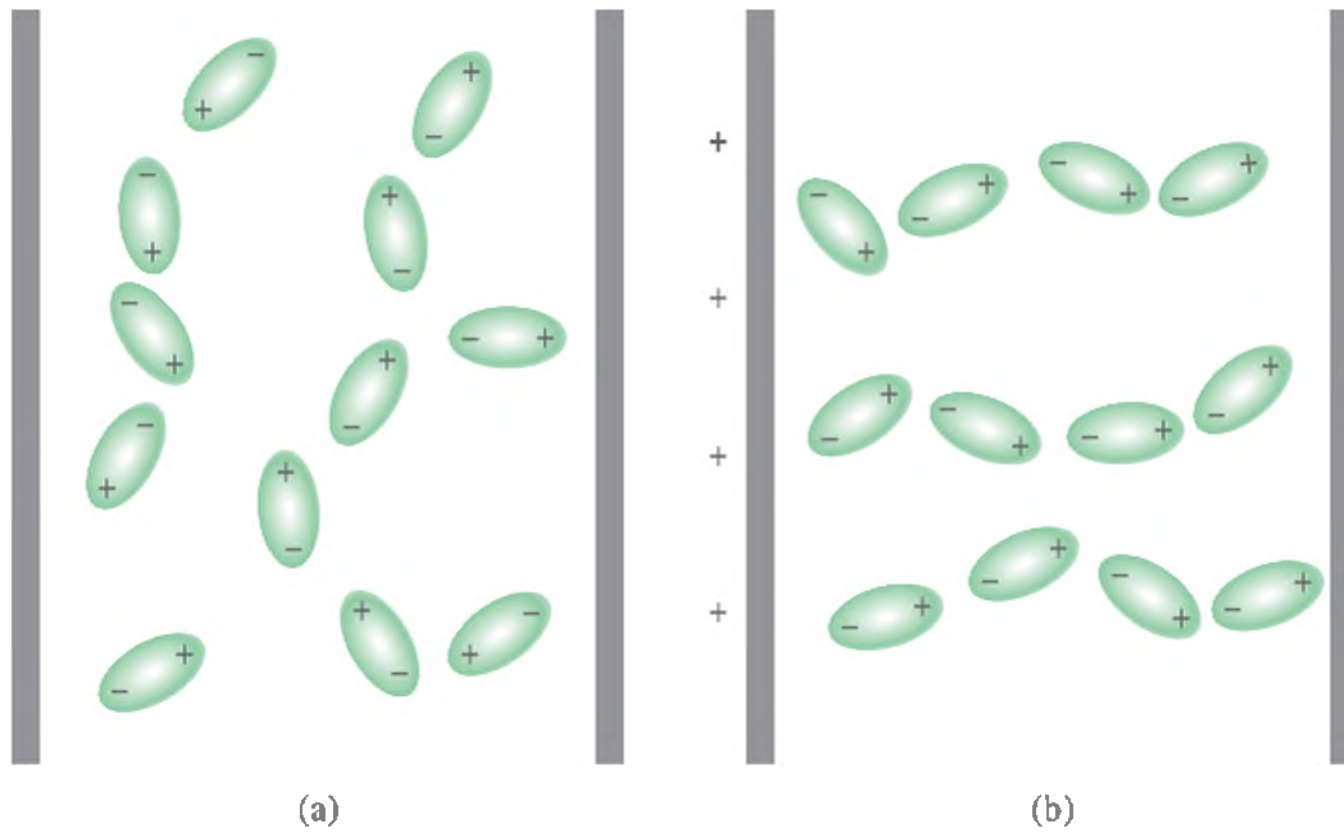
Oluşan yük ayrımı şöyle gösterilebilir:



Burada δ (delta) kısmi yükü gösterir. Bu yük ayrımı elektrik alanı içinde doğrulanabilir (Şekil 10.3). Elektrik alanı uygulandığında, HF moleküllerinin negatif uçları pozitif plakaya, pozitif uçları da negatif plakaya doğru yönelirler. Moleküllerin bu yönelmesi deneysel olarak tespit edilebilir.

Bu bağın polarlığının nicel ölçümü *dipol moment* (μ)’tir. *Dipol moment*, Q yükü ile yükler arasındaki uzaklığın (r) çarpımına eşittir:

$$\mu = Q \times r \quad (10.1)$$

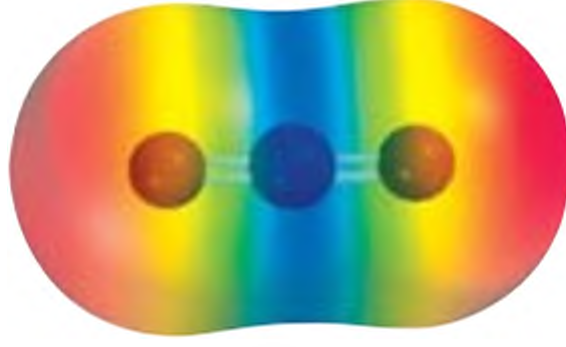


Şekil 10.3 Polar moleküllerin (a) elektrik alanı uygulanmadığında, (b) elektrik alanı uygulandığındaki davranışları. Polar olmayan moleküller elektrik alanından etkilenmez.

HF gibi iki atomlu molekülde, Q yükü $\delta+$ ve $\delta-$ 'ya eşittir.

Animasyon
Moleküllerin Polarlığı

Animasyon
Molekül Şeklinin Polarlığa Etkisi



Her bir karbon-oksijen bağı polardır ve elektron yoğunluğu daha elektronegatif olan oksijen atomuna kaymıştır. Ancak, doğrusal molekül geometrisinin bir sonucu olarak iki bağ momenti birbirini götürür.

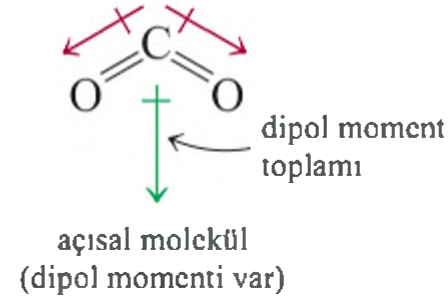
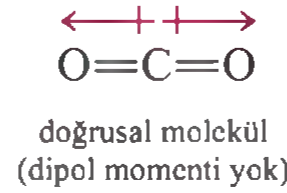
VSEPR modeli CO_2 nin doğrusal olduğunu öngörür.

Elektriksel nötrallığı korumak için, elektriksel olarak nötral olan iki atomlu molekülün zıt taraflarındaki yüklerin hem büyüklükleri hemde işaretleri eşit olmak zorundadır. Burada, [Eşitlik (10.1)'de], Q sadece yükün büyüklüğünü gösterir ve işaretini göstermez. Bu yüzden μ daima pozitiftir. Dipol momentler genellikle, Alman kökenli Amerikan kimyacı ve fizikçi Peter Debye¹ anısına debye (D) birimi ile verilir. 1 D için dönüştürme faktörü şöyledir:

$$1 \text{ D} = 3,336 \times 10^{-30} \text{ C m}$$

Burada C coulomb, m metredir.

Farklı elementlerin atomlarını içeren iki atomlu moleküller (örneğin, HCl , CO ve NO) dipol momentlere sahiptir ve **polar moleküller** olarak adlandırılırlar. Aynı elementin atomlarını içeren iki atomlu moleküller ise (örneğin, H_2 , O_2 ve F_2) **polar olmayan moleküllere** örneklerdir. Çünkü bu tür moleküllerin dipol momentleri yoktur. Üç ya da daha çok atomdan oluşan moleküllerin dipol momentlerinin olup olmadıklarının belirlenmesi için, hem bağların polarlıklarının hem de molekül geometrilerinin bilinmesi gerekir. Polar bağları olsa bile molekülün bir dipol momentine olmayabilir. Örneğin, karbon dioksit (CO_2), üç atomlu bir moleküldür, dolayısıyla geometrisi doğrusal ya da açısallı olabilir:

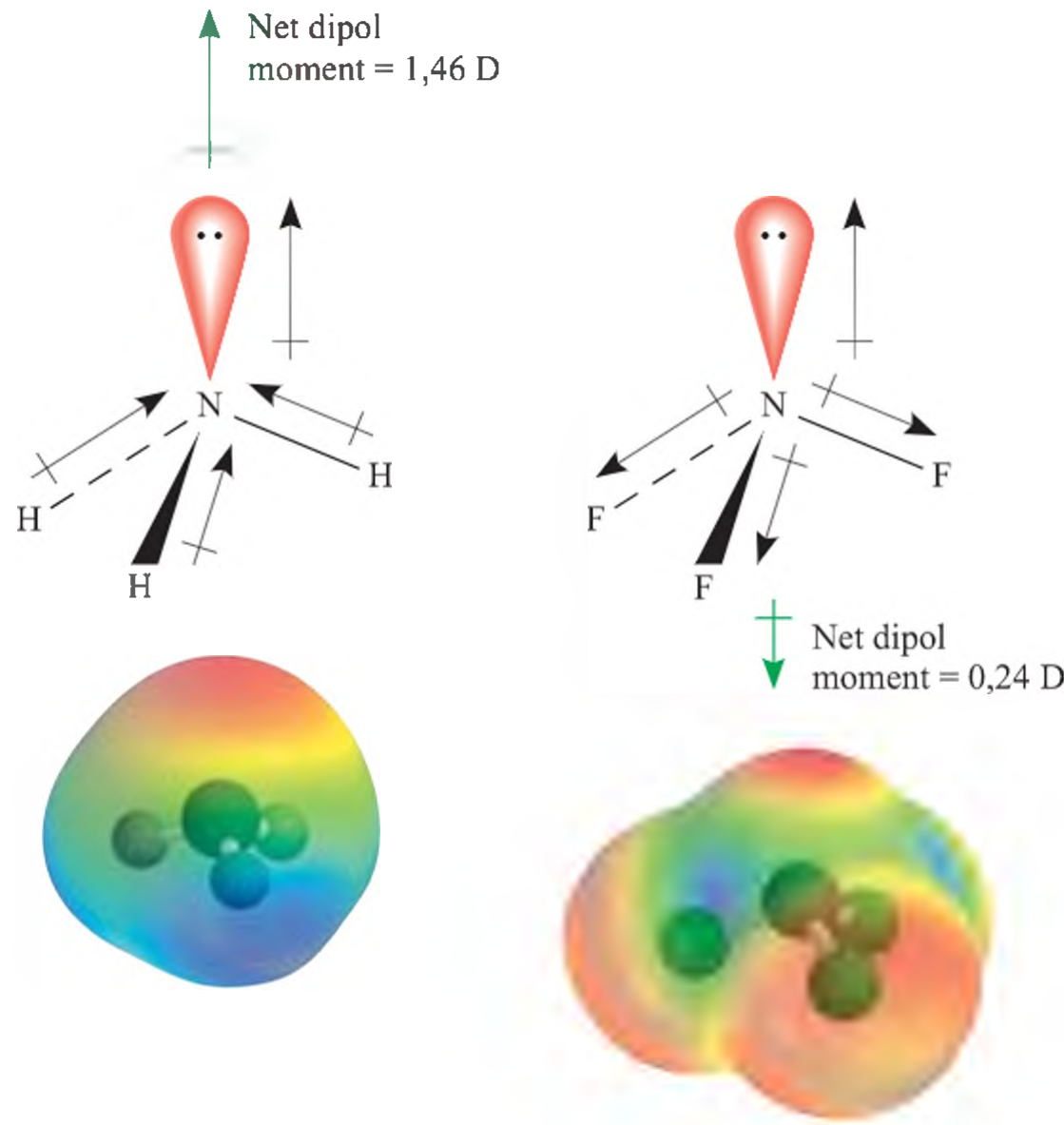


Molekül üzerindeki oklar, daha az elektronegatif olan karbon atomundan daha fazla elektronegatif olan oksijen atomuna doğru elektron yoğunluğu kaymasını gösterir. Yukarıda verilen her iki durumda da molekülün dipol momentini iki bağın momentinden, yani polar $\text{C}=\text{O}$ bağlarındaki dipol momentlerden kaynaklanır. Bağ momenti hem büyüklük hem de yön bakımından vektörel bir niceliktir. Ölçülen dipol moment bağ momentlerinin vektörel toplamıdır. CO_2 'de iki bağın momentleri eşit büyüklüktedir. Doğrusal CO_2 molekülünde iki zıt yönde yönelirler ve oluşan net dipol moment sıfır olmalıdır. Diğer taraftan, eğer CO_2 molekülü açısallı olsaydı, iki bağ momenti birbirini kısmen güçlendirecek ve molekülün net bir dipol momentine olacaktı. Deneysel olarak karbon dioksitin bir dipol momentinin olmadığı bulunmuştur. Buradan, karbon dioksit molekülünün doğrusal olduğu sonucunu çıkarırız. Karbon dioksitin doğrusal yapısı başka deneysel ölçümlerle de kanıtlanmıştır.

Şekil 10.4'de gösterilen NH_3 ve NF_3 moleküllerini gözönüne alalım. Her iki durumda da, merkez N atomunun bir yalın elektron çifti vardır. Bunun yük yoğunluğu N atomundan uzağa doğrudur. Şekil 9.5'den N atomunun H atomundan ve F atomunun da N atomundan daha elektronegatif olduğunu biliyoruz. Bu nedenle, NH_3 'de elektron yoğunluğu N atomuna doğru kaydığından bu dipol momente daha çok katkıda bulunur. NF_3 bağ momentleri ise, N atomundan uzağa doğru yönelmiştir ve dipol momente yalın elektron çiftinin katkısını baskılamaktadırlar. Buna göre, NH_3 'de oluşan dipol moment NF_3 'dekinden daha fazladır.

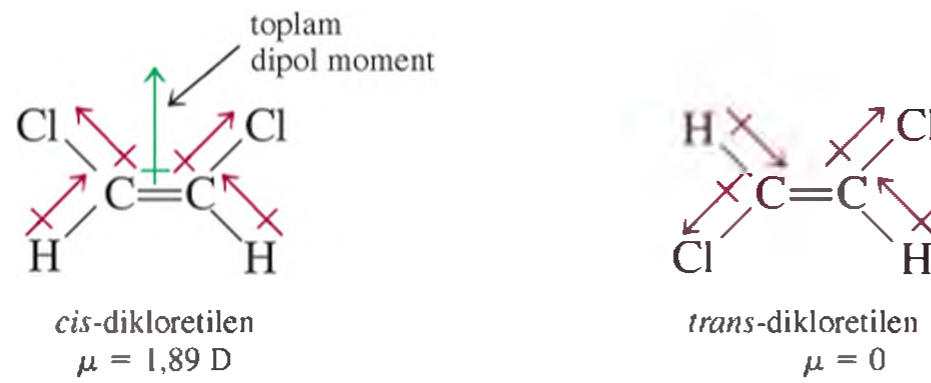
Dipol momentler, aynı molekül formülüne sahip ancak farklı yapıları olan molekülleri ayırt etmek için de kullanılabilir. Örneğin, aşağıdaki moleküllerin her ikisi de

¹Peter Joseph William Debye (1884-1966). Alman kökenli Amerikan fizikçisi ve kimyacı. Debye moleküler yapı, polimer kimyası, X-ışınları analizi ve elektrolit çözeltiler ile ilgili çalışmalarıyla birçok önemli katkılar yapmıştır. 1936'da Nobel Kimya ödülü almıştır.



Şekil 10.4 NH_3 ve NF_3 'de bağ momentleri ve net bağ momentleri. Elektrostatik bağ haritası, bu moleküllerdeki elektron yoğunluğu dağılımlarını gösterir.

aynı molekül formülüne ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$), aynı sayıda ve aynı türde bağlara sahiptirler. Ancak bunların molekül yapıları farklıdır:



Yukarıda verilen moleküllerden *cis*-dikloretilen polar bir molekül iken, *trans*-dikloretilen değildir. Bu iki molekül, dipol moment ölçümleriyle kolayca ayırdedilebilir. Ayrıca Bölüm 11'de göreceğimiz gibi, moleküllerarası kuvvetlerin büyüklüğü, molekülün dipol momentinin olup olmamasıyla doğrudan bağlantılıdır. Çizelge 10.3 de çeşitli polar moleküllerin dipol momentleri verilmektedir.

Çizelge 10.3 Bazı Polar Moleküllerin Dipol Momentleri

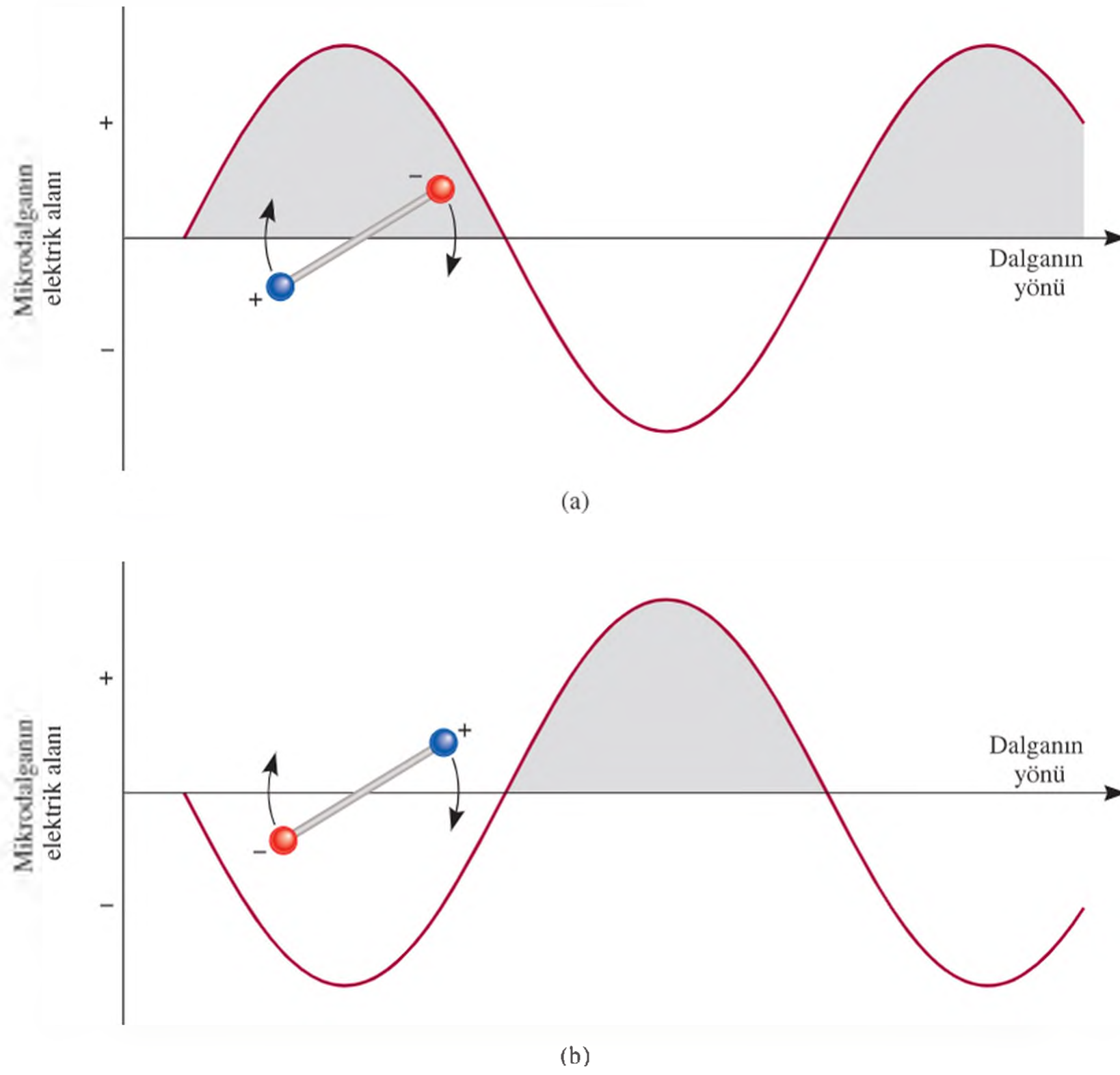
Molekül	Geometri	Dipol moment (D)
HF	Doğrusal	1,92
HCl	Doğrusal	1,08
HBr	Doğrusal	0,78
HI	Doğrusal	0,38
H_2O	Açısal	1,87
H_2S	Açısal	1,10
NH_3	Üçgen piramit	1,46
SO_2	Açısal	1,60

cis-dikloretilen de (üstteki), bağ momentleri birbirini kuvvetlendirdiği için molekül polardır. *Trans*-dikloretilen de tersi geçerli olduğu için molekül polar değildir.

Mikrodalga Fırınlar – Dipol Momentler

Mikrodalga fırınlar 40 yıldan bu yana her yerde uygulanı alanı bulunmuştur. Mikrodalga teknolojisi bize yiyecekleri klasik yöntemlerden çok daha hızlı çözme ve pişirme olanakları sunmuştur. Peki, mikrodalgalar yiyecekleri bu kadar çabuk nasıl ısıtmaktadır?

Bölüm 7’de mikrodalgaların elektromanyetik ışıma şekillerinden biri olduğunu görmüştük (Şekil 7.3’e bakınız). Mikrodalgalar radar teknolojisinin geliştiği II. Dünya Savaşı sırasında keşfedilen bir magnetron tarafından oluşturulur.



Mikrodalganın elektrik alan bileşeni ile bir polar molekül arasındaki etkileşme. (a) Dipolün negatif ucu dalganın yayılmasını izler (pozitif bölge) ve saat yönünde döner. (b) Molekül yeni konuma döndükten sonra, ışıma da sonraki döngüsü boyunca hareket eder, dipolün negatif ucu yukarı itilirken pozitif ucu dalganın negatif bölgesine doğru hareket edecektir. Böylece, molekül çok daha hızlı dönecektir. Polar olmayan moleküllerde böyle bir etkileşim oluşamaz.

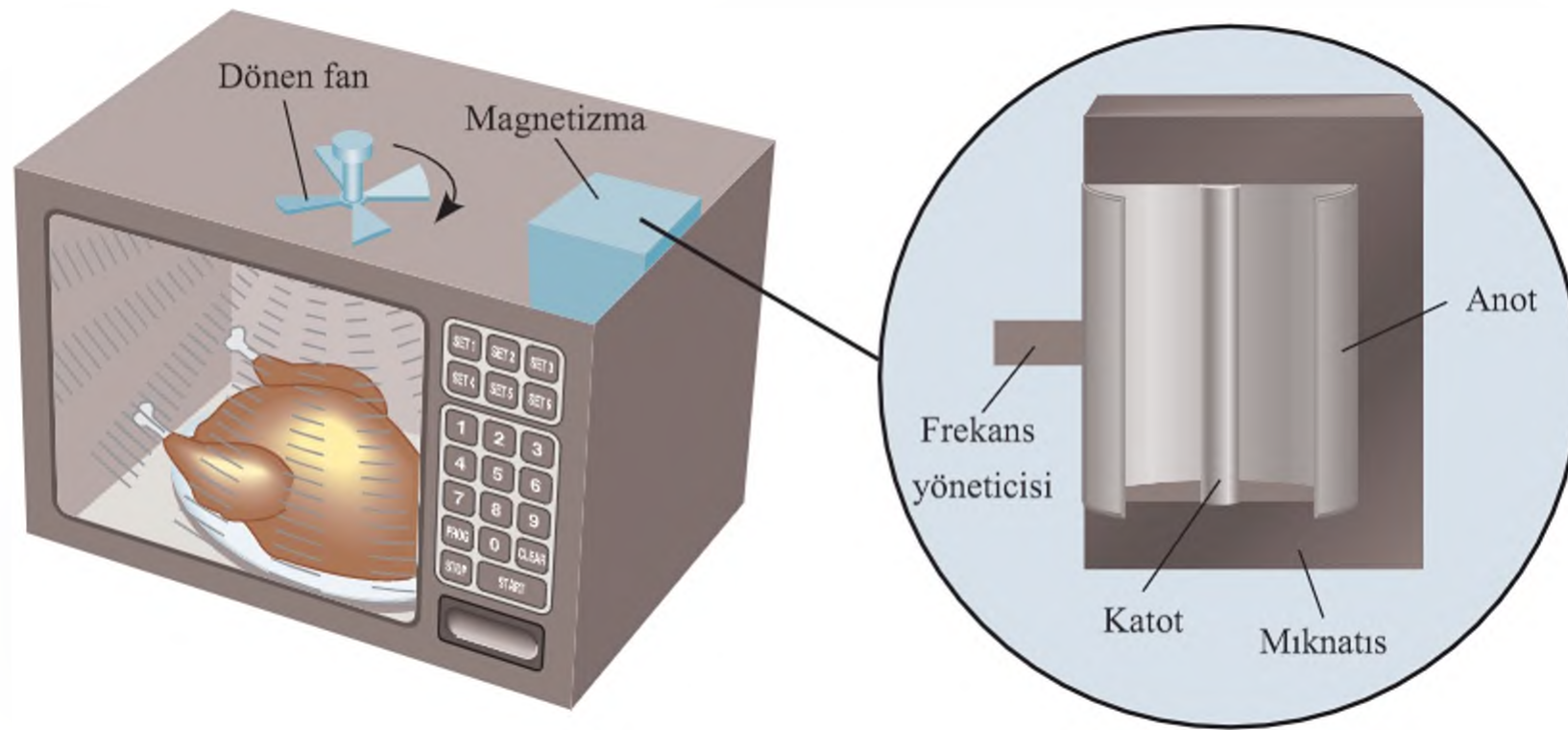
Magnetron at nalı şeklinde bir manyet ile kaplanmış içi boş bir silindirdir. Silindirin merkezinde bir katot çubuğu vardır. Silindirin duvarları bir anot olarak davranır. Isıtıldığı zaman, katot anoda doğru hareket eden elektronları yayar. Manyetik alan elektronları dairesel bir yolda hareket etmeye zorlar. Yüklü parçacıkların bu hareketi mikrodalgaları oluşturur. Pişirme için bu 2,45GHz ($2,45 \times 10^9$ Hz) değerine ayarlanır. Bir dalga yönlendiricisi mikrodalgaları pişirme kısmına yönlendirir. Dönen bir fan mikrodalgaları fırının tüm kısımlarına yansıtır.

Bir mikrodalga fırında pişirme işlemi, ısımanın elektrik alan bileşeni ile yiyecekteki polar moleküller (çoğunlukla gıdalardaki su) arasındaki etkileşim ile oluşur. Tüm moleküller oda sıcaklığında dönme hareketleri yapar. Eğer ısımanın frekansı moleküller dönmenininkine eşit olursa mikrodalgadan polar moleküle enerji aktarılır. Sonuç olarak molekül daha hızlı dönecektir. Bu, bir gazda olduğu gibidir. Yoğun bir halde (örneğin yiyecek içinde), bir molekül serbest dönme yapamaz. Ancak, mikrodalganın salınım alanıyla dipol momentini yönlendirebilecek bir kuvvet (dönmeyi sağlayacak bir kuvvet) uygulanabilir. Sonuç olarak moleküller arasında sürtünme vardır ve bu yiyeceklerde ısınma olarak ortaya çıkar.

Bir mikrodalga fırının yiyecekleri böyle hızlı pişirmesinin nedeni, ısımanın polar olmayan moleküller tarafından soğurul-

maması ve bu yüzden yiyeceğin farklı taraflarına aynı zamanda ulaşabilmesidir. (su miktarına bağlı olarak, mikrodalgalar birkaç inç derinliğe kadar ulaşabilir). Klasik bir fırında, ısı sadece iletildiği için yiyeceklerin orta kısımlarına çok yavaş ulaşır. Bu ısı iletimi sıcak hava moleküllerinden yiyecekteki daha soğuk moleküllere tabaka tabaka aktarıldığından bu çok yavaş bir işlemdir.

Verilen şu hususlar bir mikrodalga fırının çalışmasına ilişkindir. Plastikler ve pyrex camlar polar molekül içermez, bu nedenle mikrodalga ısımasından etkilenmez (köpük ve bazı plastikler mikrodalgada kullanılmaz, çünkü yiyeceğin ısınmasıyla erirler). Metaller mikrodalgayı yansıtarak yiyecekler üzerinde perdeleme yapar ve muhtemelen enerji mikrodalga yansıtıcısına geri dönerek aşırı yüklenmeye neden olur. Mikrodalgalar metaldeki bir akımı indükleyebilir. Bu davranış kap ile fırın dibi ya da duvarları arasında kıvılcımlı sıçramalara neden olabilir. Son olarak, su molekülleri buz halindeyken belli bir sabit konumda olduğundan dönme hareketi yapamamasına rağmen donmuş yiyecekleri mikrodalga fırında çözebiliriz. Bunun nedeni oda sıcaklığında donmuş yiyeceğin yüzeyinde hemen ince bir film tabakası şeklinde sıvı su oluşması ve film içindeki hareketli moleküllerin çözme işlemini başlatacak ısınmayı soğurabilmesidir.



Bir mikrodalga fırın. Magnetron tarafından oluşturulan mikrodalgalar dönen fan yardımıyla fırının her yerine yansıtılır.

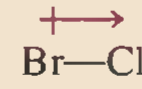
Molekül geometrisinin bilinmesi durumunda, molekülün dipol momentinin olup olmadığının nasıl anlaşılacağı Örnek 10.2’de göstermektedir.

Örnek 10.2

Verilen şu moleküllerin herbirinin dipol momente sahip olup olmadıklarını öngörünüz (a) BrCl. (b) BF₃ (üçgen düzlem), (c) CH₂Cl₂ (dört yüzlü).

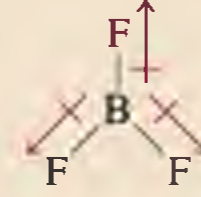
İzlenecek Yol Bir molekülün dipol momente sahip olmasının hem içerdiği elementlerin elektronegatiflikleri arasındaki farka, hem de geometrisine bağlı olduğunu anımsayınız. Bir molekül polar bağlar içerebilir (bağlı atomların elektronegatiflikleri farklı ise), ancak simetrik bir geometrik yapıya sahipse dipol momentini olmayabilir.

Çözüm (a) Brom klorür iki atomlu olduğu için geometrisi doğrusaldır. Klor bromdan daha elektronegatifdir (Şekil 9.5’e bakınız) ve buna göre BrCl polar olup negatif uçta klor bulunur.



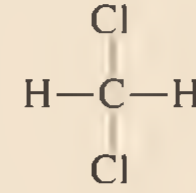
Bu yüzden, molekülün bir dipol momente sahiptir. Gerçekte farklı elementler içeren bütün iki atomlu moleküller bir dipol momente sahiptirler.

(b) Flor, bordan daha elektronegatif olduğu için BF₃ (bortriflorür)’deki her B—F bağı polardır ve üç bağı da momenti eşittir. Ancak, düzlem üçgenin simetrisi nedeniyle üç bağı momentleri birbirini yok ederler.

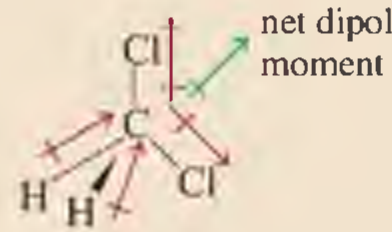


Üç bağ, bir cismin eşit momentlerle yukarıda gösterilen yönlerde çekilmesine benzer. Eğer kuvvetler eşitse, cisim hareket etmeyecektir. Sonuç olarak, BF₃’ün dipol momentini yoktur. Polar olmayan bir moleküldür.

(c) CH₂Cl₂(metilen klorür)’ün Lewis yapısı aşağıdadır:

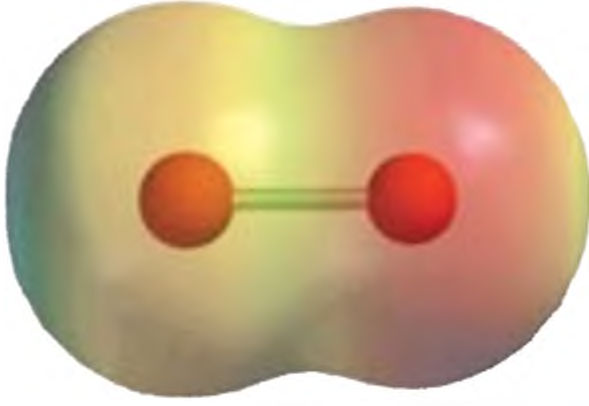


Bu molekül düzgün dört yüzlü geometriye sahip olan CH₄ molekülüne benzer. Ancak, tüm bağlar aynı değildir. Üç farklı bağ açısı vardır: HCH, HCCl ve ClCCl. Bu bağ açıları birbirine yakındır fakat 109,5°’ye eşit değildir. Klor, karbondan karbon da hidrojeninden daha elektronegatif olduğu için bağ momentleri birbirini götürmez. Molekülün net bir dipol momentini vardır:

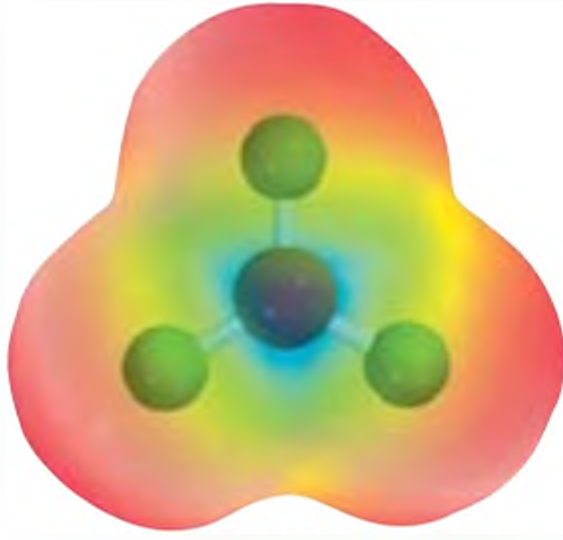


Bu yüzden CH₂Cl₂ polar bir moleküldür.

Alıştırma AlCl₃’ün bir dipol momentini var mıdır?



Elektrostatik potansiyel haritası, BrCl molekülünde elektron yoğunluğunun Cl atomuna doğru kaydığını göstermektedir.



Elektrostatik potansiyel haritası, BF₃ molekülünde elektron yoğunluğunun simetrik dağıldığını gösterir.



CH₂Cl₂ için elektrostatik potansiyel haritası. Elektron yoğunluğu elektronegatif olan Cl atomlarına doğru kaymıştır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Karbon dioksit doğrusal bir geometriye sahiptir ve polar değildir. Ancak molekülün eğilme ve gerilme hareketlerinin de bir dipol moment oluşturabileceğini biliyoruz. CO₂ için bu zıtlığı nasıl açıklarsınız?

10.3 Değerlik Bağ Kuramı

VSEPR modeli, daha çok Lewis yapılarına dayanmakta olup, molekül geometrilerini öngörmek için bağıl olarak basit bir yöntemdir. Fakat daha önce işaret edildiği gibi, Lewis kuramı kimyasal bağları tam olarak açıklayamaz. Bir kovalent bağın oluşumunu, elektronları eşleştirerek yapması doğru yönde ilk adımdır, ancak yeterli değildir. Örneğin Lewis kuramı, H₂ molekülünde H atomları arasında bulunan tek bağları ve F₂ molekülünde F atomları arasında bulunan tek bağları iki elektronun ortaklanması olarak tanımlar. Ancak, moleküller çok farklı bağ enerjilerine ve bağ uzunluklarına sahiptirler (H₂ için 436,4 kJ/mol ve 74 pm; F₂ için 150,6 kJ/mol ve 142 pm). Bu ve birçok başka faktörler Lewis kuramıyla açıklanamaz. Kimyasal bağ oluşumunun daha kesin açıklamasını yapmak için kuantum mekaniğine bakmak gerekir. Gerçekten, kimyasal bağın kuantum mekaniği olarak incelenmesi aynı zamanda molekül geometrilerini anlamayı da sağlar.

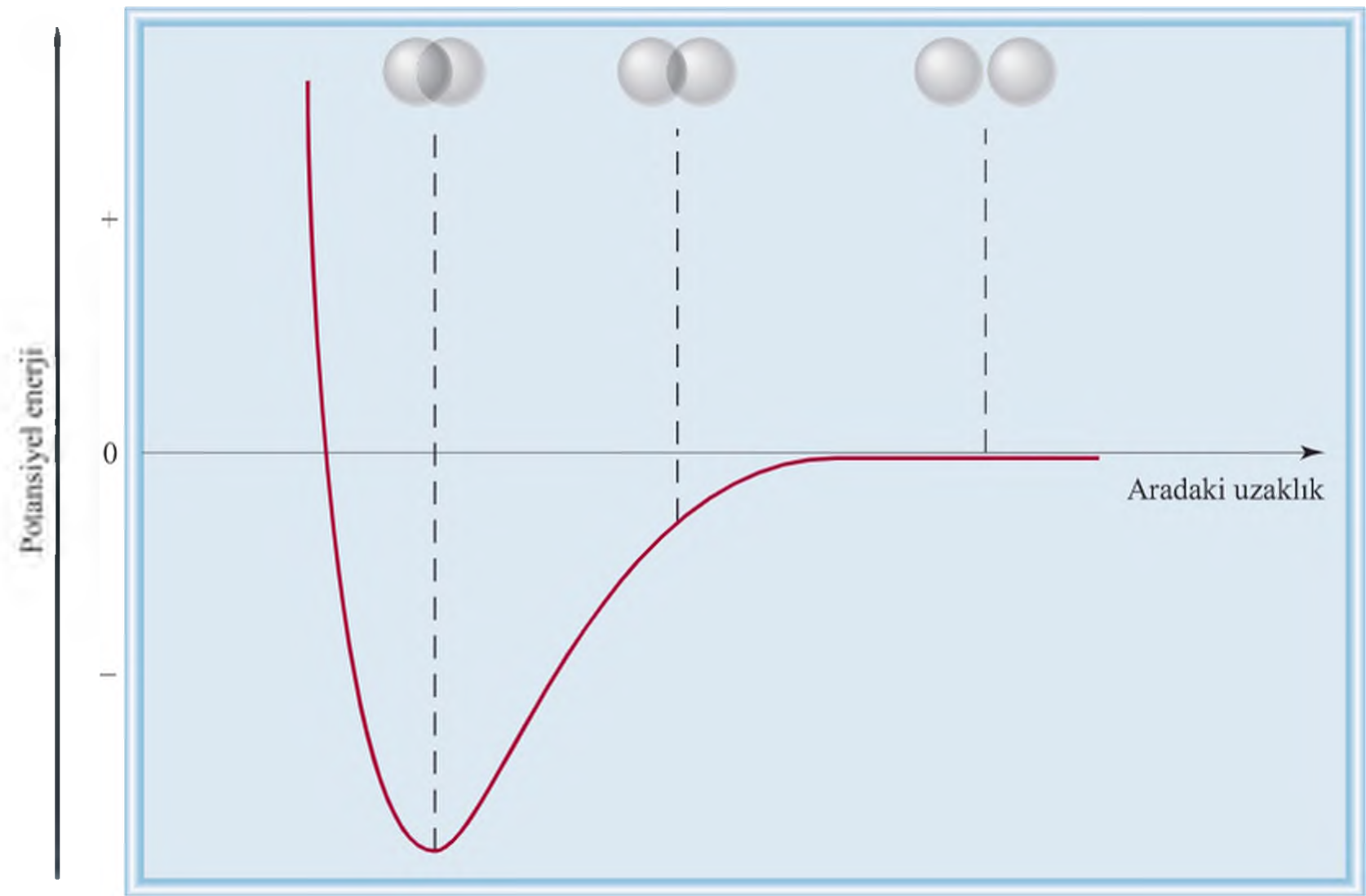
Kovalent bağ oluşumunu ve moleküllerin elektronik yapılarını açıklamak için iki kuantum mekaniği kuramı kullanılmaktadır. *Değerlik bağ (VB) kuramı* bir moleküldeki elektronların moleküle ait atom orbitallerini işgal ettiğini varsayar. Bu bizim bağ oluşumunda yer alan atomları dikkate alınmamızı sağlar. *Molekül orbital (MO) kuramı* olarak adlandırılan ikinci kuram, atom orbitallerinden molekül orbitallerinin oluşumunu kabul eder. Her iki kuram da bağ oluşumunu tüm yönleriyle ve tam olarak açıklayamaz. Ancak birçok molekül özelliklerini anlamamıza katkıda bulunur.

İki hidrojen atomundan H₂ molekülünün oluşmasını ele alalım ve değerlik bağ kuramıyla başlayalım. Lewis kuramı H—H bağını H atomlarındaki iki elektronun eşleşmesi olarak tanımlar. Değerlik bağ kuramına göre ise H—H kovalent bağı, her iki H atomunun 1s orbitallerinin *örtüşmesiyle* oluşur. Örtüşme iki orbitalin uzayda ortak bir bölgeyi paylaşması anlamında kullanılmaktadır.

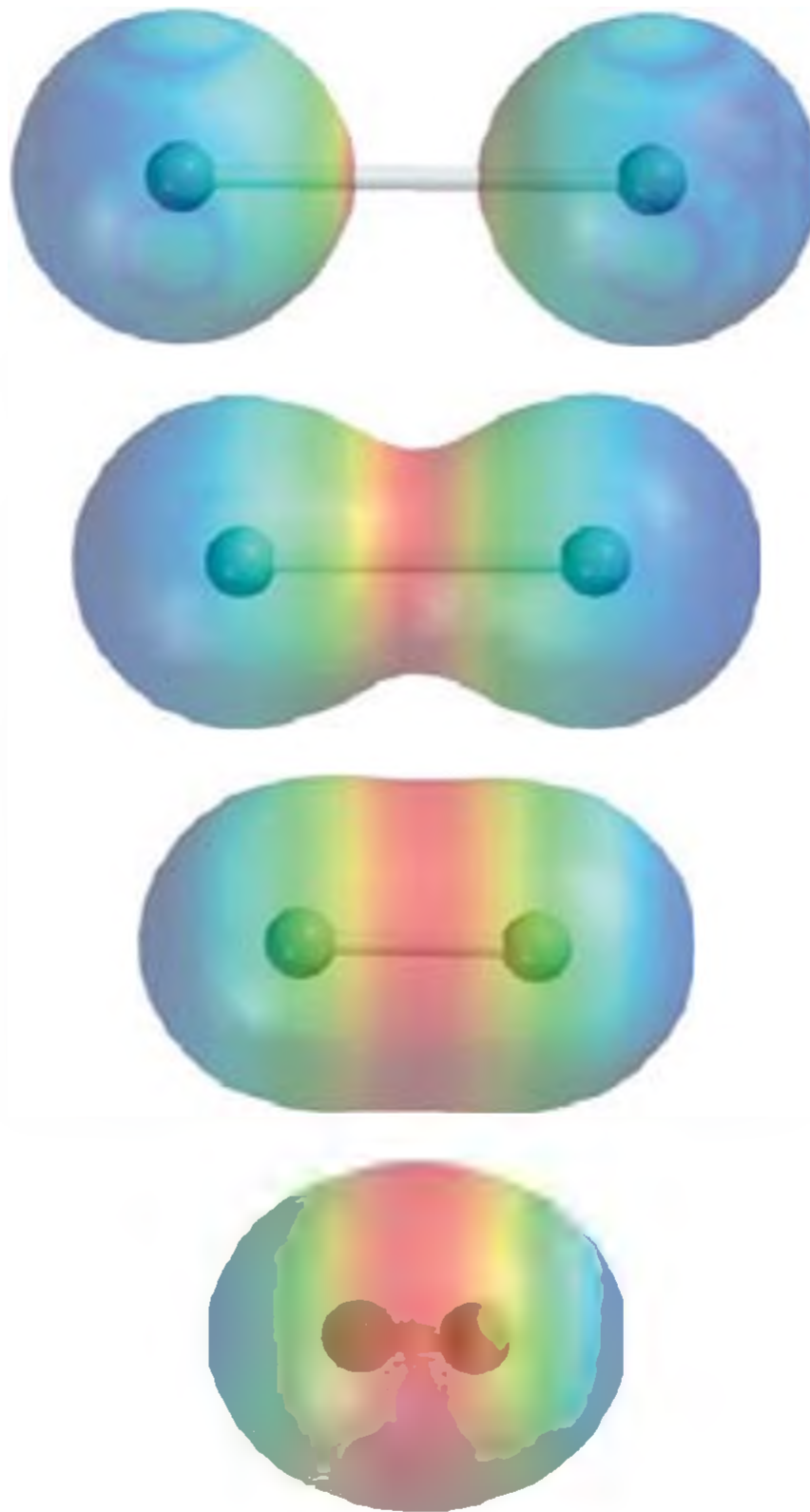
İki H atomu bağ oluşturmak üzere birbirine doğru yaklaştıkça ne olur? Başlangıçta, iki atom birbirinden uzaktayken herhangi bir etkileşim yoktur. Bu sistemin potansiyel enerjisi yani iki H atomunun potansiyel enerjisi sıfırdır. Atomlar birbirine yaklaştıkça her elektron diğer atomun çekirdeği tarafından çekilir. Aynı zamanda hem elektronlar hem de çekirdekler birbirini iter. Atomlar ayrı ayrı iken çekme itmeden daha kuvvetlidir. Öyle ki, sistemin potansiyel enerjisi atomlar birbirine yaklaştıkça azalır yani negatif olur (Şekil 10.5). Bu eğilim, potansiyel enerji bir minimum değere ulaşmaya kadar sürer. Bu noktada, sistem en düşük potansiyel enerjiye sahip olduğunda en kararlı haldedir. Bu durumu, 1s orbitallerinin etkin örtüşmesine ve kararlı bir H₂ molekülünün oluşmasına karşılık gelir. Eğer çekirdekler arası uzaklık daha da azalırsa, potansiyel enerji hızla artar ve sonuçta artan elektron-elektron ve çekirdek-çekirdek itmeleri nedeniyle pozitif olur. Enerjinin korunumu yasasına göre, H₂ oluşumuyla potansiyel enerjideki azalma, dışarıya enerji verilmesiyle mümkün olmalıdır. Deneyler de, iki H atomundan bir H₂ oluştuğunda ısı açığa çıktığını göstermiştir. Bunun tersi de doğrudur. Yani, bir H—H bağını kırmak için, moleküle enerji verilmelidir. Şekil 10.6. H₂ molekülünün oluşumunu göstermektedir.

Bir cismin, konumundan dolayı potansiyel enerjiye sahip olduğunu unutmayınız.

Şekil 10.5 Aradaki uzaklık ile iki H atomunun potansiyel enerji değişimi. Minimum potansiyel enerji noktasında, H_2 molekülü en kararlı halindedir ve bağ uzunluğu 74 pm'dir. Küreler 1s orbitallerini gösterir.



Şekil 10.6 Yukarıdan aşağıya doğru: İki H atomu birbirine yaklaşırken 1s orbitalleri etkileşmeye başlar ve her elektron diğer protonun çekimini hissetmeye başlar. İki çekirdek arasında yavaş yavaş elektron yoğunluğu oluşmaya başlar (Kırmızı renk). Sonunda, çekirdeklerarası uzaklık 74 pm olduğunda kararlı bir H_2 molekülü oluşur.



Buna göre, değerlik bağ kuramı, kimyasal bağ oluşumunu Lewis kuramından daha açık bir şekilde göstermektedir. Değerlik bağ kuramı, sistemin potansiyel enerjisi minimum olduğunda tepkiyen atomlardan kararlı bir molekül oluştuğunu kabul eder. Oysa Lewis kuramı, kimyasal bağ oluşumunda enerji değişimlerini gözönüne almaz.

Atom orbitallerinin örtüşmesi kavramı H_2 'den başka diğer iki atomlu moleküllere de aynı şekilde başarıyla uygulanabilir. Örneğin, iki tane F atomundaki $2p$ orbitallerinde bulunan eşleşmemiş elektronlar bir kovalent bağ oluşturmak üzere örtüştüğünde, kararlı bir F_2 molekülü oluşur. Benzer şekilde, HF molekülünün oluşumu, H'nin $1s$ orbitali ile F'nin $2p$ orbitalinin örtüşmesiyle açıklanabilir. Her iki durumda da, değerlik bağ (VB) kuramı, potansiyel enerjideki değişimleri tepkimeye giren atomlar arasındaki uzaklığın değişimine bağlı olarak açıklar. Etkileşen orbitaller her zaman aynı olmadığı için H_2 , F_2 ve HF'deki bağ enerjileri ve bağ uzunluklarının neden farklı olması gerektiğini de anlayabiliriz. Daha önce belirttiğimiz gibi Lewis kuramı *tüm* kovalent bağların aynı şekilde oluştuğunu kabul eder ve kovalent bağlar arasındaki farkları açıklayamaz.

F atomunun elektron dağılımı s. 308'de verilmiştir.

Kavramların Değerlendirilmesi

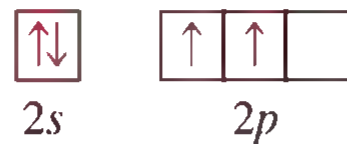
Kimyasal bağ oluşumunda Lewis kuramı ile değerlik bağ kuramını karşılaştırınız.

10.4 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi

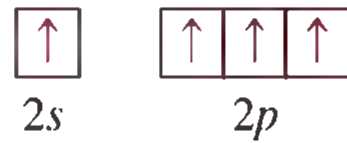
Atom orbitallerinin örtüşmesi kavramı, çok atomlu moleküllere de uygulanabilmelidir. Bununla beraber, molekül geometrisini açıklayabilmek için uygun bir bağlanma şeması verilmelidir. Çok atomlu moleküllerde bağlanmanın VB kuramı ile açıklanmasına ilişkin aşağıdaki üç örneği inceleyelim.

sp^3 Melezleşmesi

CH_4 molekülünü ele alalım. Sadece değerlik elektronlarını dikkate alarak C orbital dizilişini gösterebiliriz.



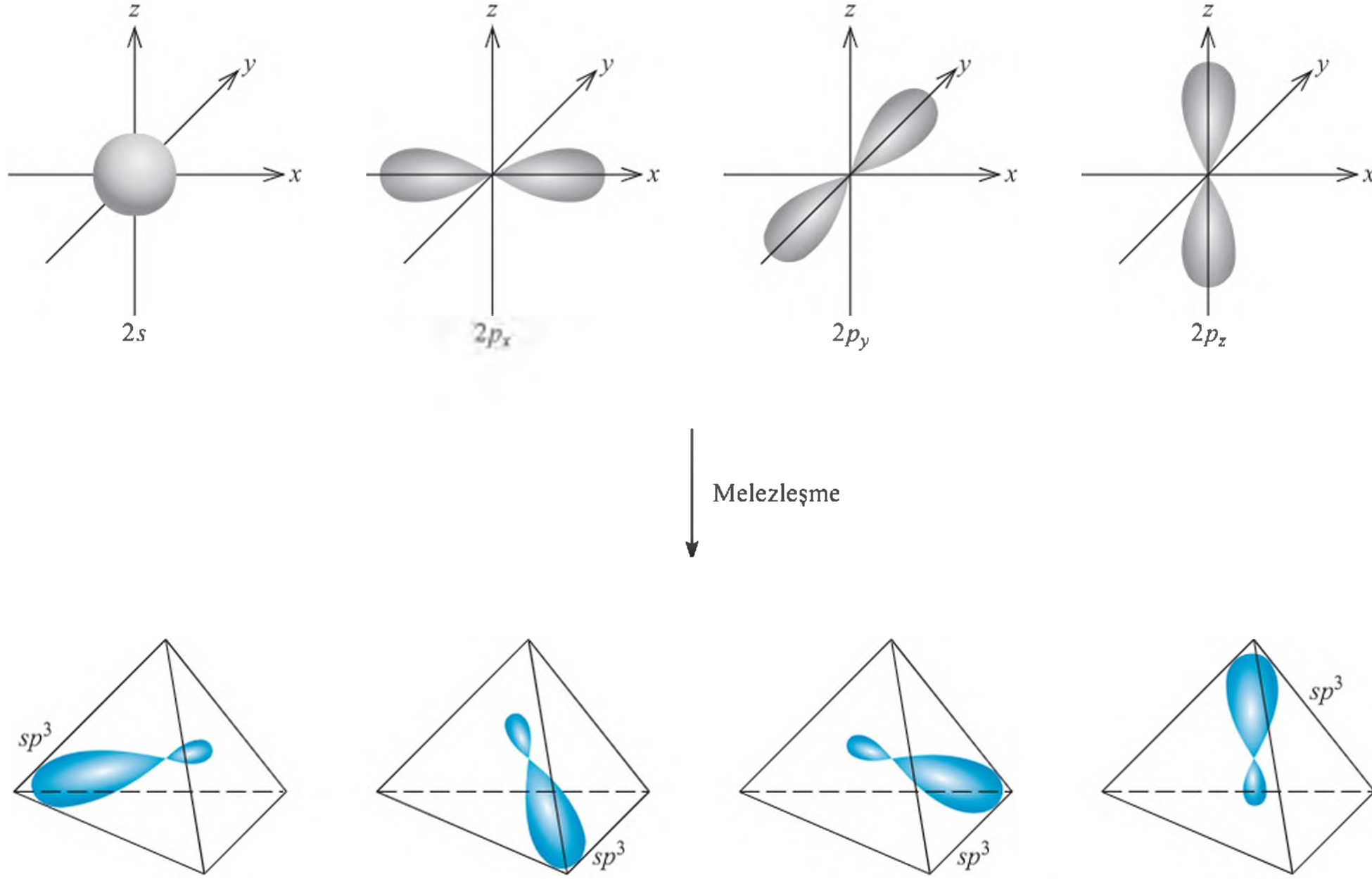
Karbon atomunun iki tane eşleşmemiş elektronu (iki $2p$ orbitalin herbirinde bir tane) olduğu için, temel halde hidrojenle sadece iki bağ yapabilir. Ancak, CH_4 bilinmesine rağmen çok kararsızdır. Metanda dört C—H bağı oluşabilmesi için $2s$ orbitalinden bir elektronun $2p$ orbitaline uyarılması gerekir.



Bu durumda C'da dört C—H bağı oluşturabilecek kadar, yani dört eşleşmemiş elektron vardır. Eğer p orbitalleri üç bağ oluştursaydı, geometri yanlış olurdu. Çünkü bu durumda üç HCH bağ açısı 90° olmalıydı (C'daki üç $2p$ orbitalini birbirine dik olduğunu hatırlayınız). Halbuki, CH_4 'deki HCH açılarının *hepsi* $109,5^\circ$ dir.

VB kuramı metandaki (CH_4) bu bağlanmayı açıklamak için, düşünsel *melez orbitallerini* kullanır. Bunlar *aynı atomun iki ya da daha çok eşdeğer olmayan orbitalle-*

Animasyon
Melezleşme

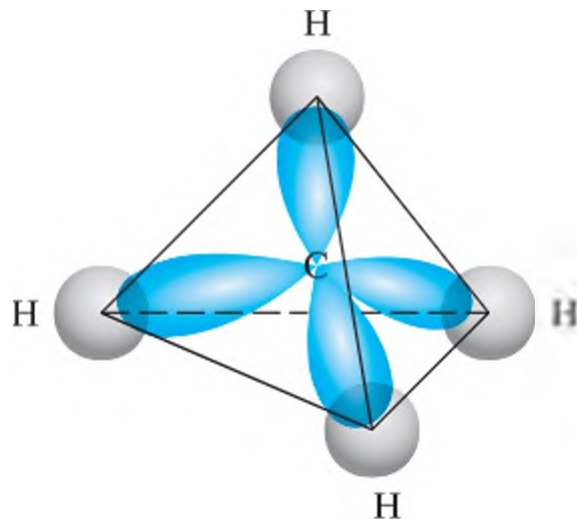
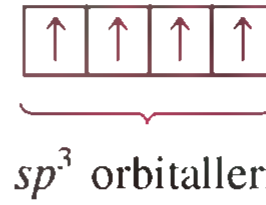


Şekil 10.7 Dört adet sp^3 melez orbitalinin bir $2s$ ve üç $2p$ orbitalinden oluşumu. sp^3 orbitalleri köşelere yönelmişlerdir.

Animasyon
Molekül Şekli ve Orbital Hidridleşmesi

sp^3 "s-p üç." diye okunur

rinin, bağ oluşumunu için elde edilen atomik orbitalleridir. **Melezleşme**, bir atomda (genellikle bir merkez atom) atom orbitallerinin karışmasıyla melez orbitallerin oluşturulması için kullanılan bir terimdir. Karbon atomunun bir $2s$ orbitali ile üç $2p$ orbitalinin karışması sonucu, dört eşdeğer melez orbitali oluşturulabilir:



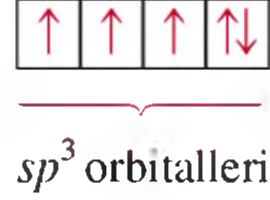
Şekil 10.8 CH_4 'de karbonun sp^3 melez orbitalleri ile hidrojenlerin $1s$ orbitalleri arasında dört bağı oluşması. Küçük loplar gösterilmemiştir.

Yeni orbitaller bir s ve üç p orbitalinden oluştuğu için sp^3 melez orbitalleri olarak adlandırılır. sp^3 orbitallerinin şekli ve yönlenmesi Şekil 10.7'de gösterilmektedir. Bu dört melez orbital, bir düzgün dörtyüzlünün köşelerine doğru yönelir. Şekil 10.8. karbonun sp^3 melez orbitalleri ile hidrojenlerin $1s$ orbitalleri arasında dört kovalent bağ oluşumunu göstermektedir. Buna göre, CH_4 dörtyüzlü bir şekle sahiptir ve tüm HCH açıları $109,5^\circ$ dir. Melezleşmenin olabilmesi için enerji gereklidir. Bu enerji C—H bağlarının oluşmasıyla açığa çıkan enerjiyle fazlasıyla karşılanır (Bağ oluşumunun ekzotermik bir işlem olduğunu anımsayınız).

Aşağıdaki benzetme melezleşmenin anlaşılması için kullanışlıdır: Herbiri 50 mL olan beherlerin birinde kırmızı diğer üçünde de mavi renkli çözeltimiz olsun. Kırmızı çözelti bir $2s$ orbitaline, mavi çözeltiler ise üç $2p$ orbitaline karşılık gelsin. Dört eşit hacim de, 4 ayrı orbitali gösterebilir. Çözeltileri karıştırırsak 200 mL mor bir çözelti elde ederiz. Bunu 50 mL'lik dört eşit kısma ayırabiliriz (yani melezleşme işlemi dört sp^3 or-

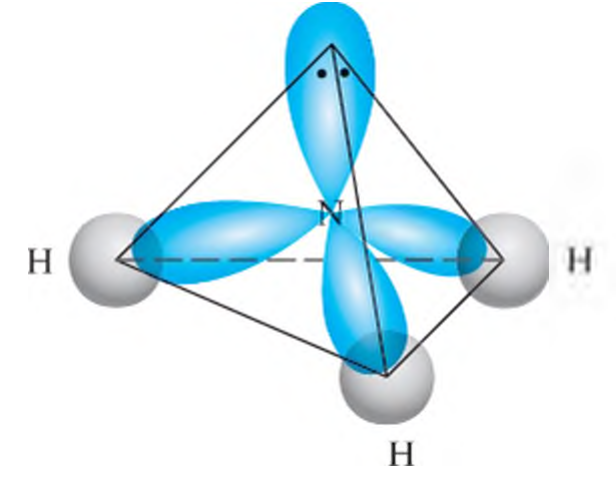
bitali oluşturur). Mor renk, kırmızı ve mavi renklerin bir karışımı olduğu gibi, sp^3 melez orbitalleri de hem s hem de p orbitallerinin özelliklerine sahiptir.

sp^3 melezleşmesine başka bir örnek de amonyaktır (NH_3). Dört elektron çiftinin dörtyüzlü olarak düzenlenmesi gerektiği, Çizelge 10.1'de verilmektedir. Öyle ki, NH_3 'deki bağlanma, CH_4 'deki C gibi, N'un sp^3 şeklinde melezleştiği varsayılarak açıklanabilir. N'un temel hal elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^3$ tür. sp^3 olarak melezleşen N atomu için orbital diyagramı şöyledir:



Dört melez orbitalden üçü N—H kovalent bağlarını oluşturur. Dördüncü melez orbital ise azot üzerinde yalnız elektron çifti olarak yer alır (Şekil 10.9). Bağlayıcı orbitallerdeki elektronlarla yalnız elektronlar arasındaki itme HNH bağ açısını $109,5^\circ$ den $107,3^\circ$ ye düşürür.

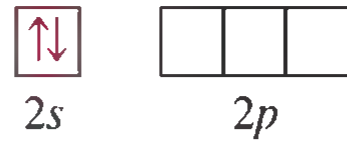
Melezleşme ile VSEPR modeli arasındaki ilişkiyi anlamak önemlidir. Elektron çifti düzenlenmesini VSEPR kullanılarak öngördükten sonra, bağlanma şemasını melezleşmeyi kullanarak açıklamalıyız. Eğer VSEPR modeli dörtyüzlü bir elektron çifti düzenlenmesi öngörürse, bir s ve üç p orbitalinin dört sp^3 melez orbitalini oluşturmak üzere melezleştiğini anlayabiliriz. Aşağıda başka tür melezleşmelere örnekler verilmiştir.



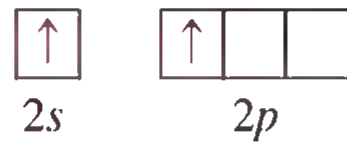
Şekil 10.9 NH_3 'de sp^3 olarak melezleşen N atomu. Üç sp^3 melez orbitali H atomlarıyla bağ oluşturur. Dördüncüsü ise azotun üzerinde yalnız elektron çifti olarak yer alır.

sp Melezleşmesi

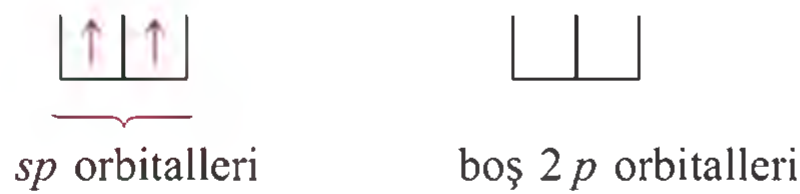
VSEPR ile berilyum klorür (BeCl_2) molekülünün doğrusal olduğu öngörülmektedir. Be için değerlik elektronları orbital dizilimi şöyledir:

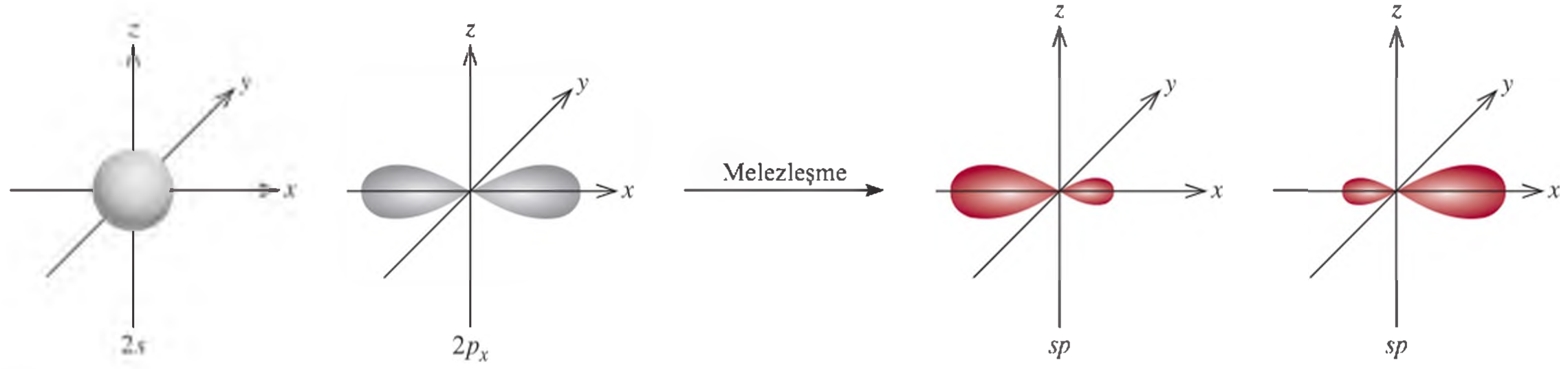


Be'un $2s$ orbitalindeki elektronlar eşleştiğinden, temel halde Be'un Cl'la kovalent bağ oluşturamayacağını biliyoruz. Bu yüzden Be'un bağlanmasını açıklamak için melezleşmeyi kullanmak gerekir. Önce, bir $2s$ elektronunu $2p$ orbitaline uyarırız.



Bu durumda, $2s$ ve $2p$ 'de bağ oluşturacak iki Be orbitali vardır. Bu uyarılmış haldeki Be ile iki Cl atomu etkileşirse, bir Cl atomu yukarıdaki $2s$, diğeri ise $2p$ elektronu ile ortaklaşarak eşdeğer olmayan iki BeCl bağı oluşturacaktır. Ancak, böyle bir taslak deneysel kanıtlara uymamaktadır. Gerçekte, BeCl_2 molekülündeki iki BeCl bağı da her yönden aynıdır. Bu yüzden $2s$ ve $2p$ orbitalleri iki eşdeğer sp melez orbitalleri oluşturmak üzere karışmalı yani melezleşmelidir:



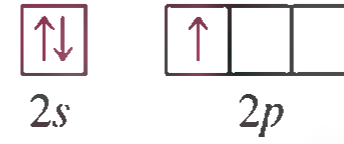


Şekil 10.10 sp melez orbitalerin oluşumu.

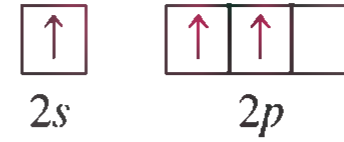
Şekil 10.10, sp orbitallerinin şeklini ve yönlenmesini göstermektedir. Bu iki melez orbital arasındaki açı 180° olacak şekilde x eksenini boyunca uzanır. Aynı doğru üzerinde yönelen BeCl bağlarının herbiri Be 'un sp melez orbitaleri ile Cl 'un $2p$ orbitalinin örtüşmesinden oluşur. BeCl_2 molekülü doğrusal bir geometriye sahiptir (Şekil 10.11).

sp^2 Melezleşmesi

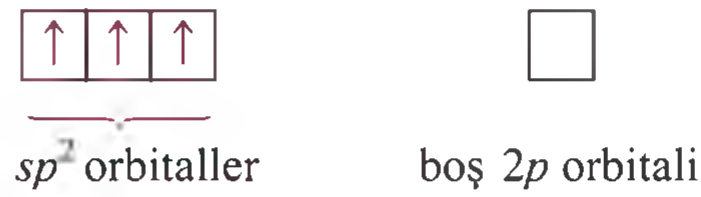
Şimdi, VSEPR'e göre molekül geometrisinin düzlemsel olduğu bilinen BF_3 (bor triflorür) molekülünü inceleyelim. Sadece değerlik elektronları gözönüne alınırsa, B için aşağıdaki orbital dizilimi yazılır:



Önce, bir $2s$ elektronunu boş p orbitallerinden birine uyaralım:



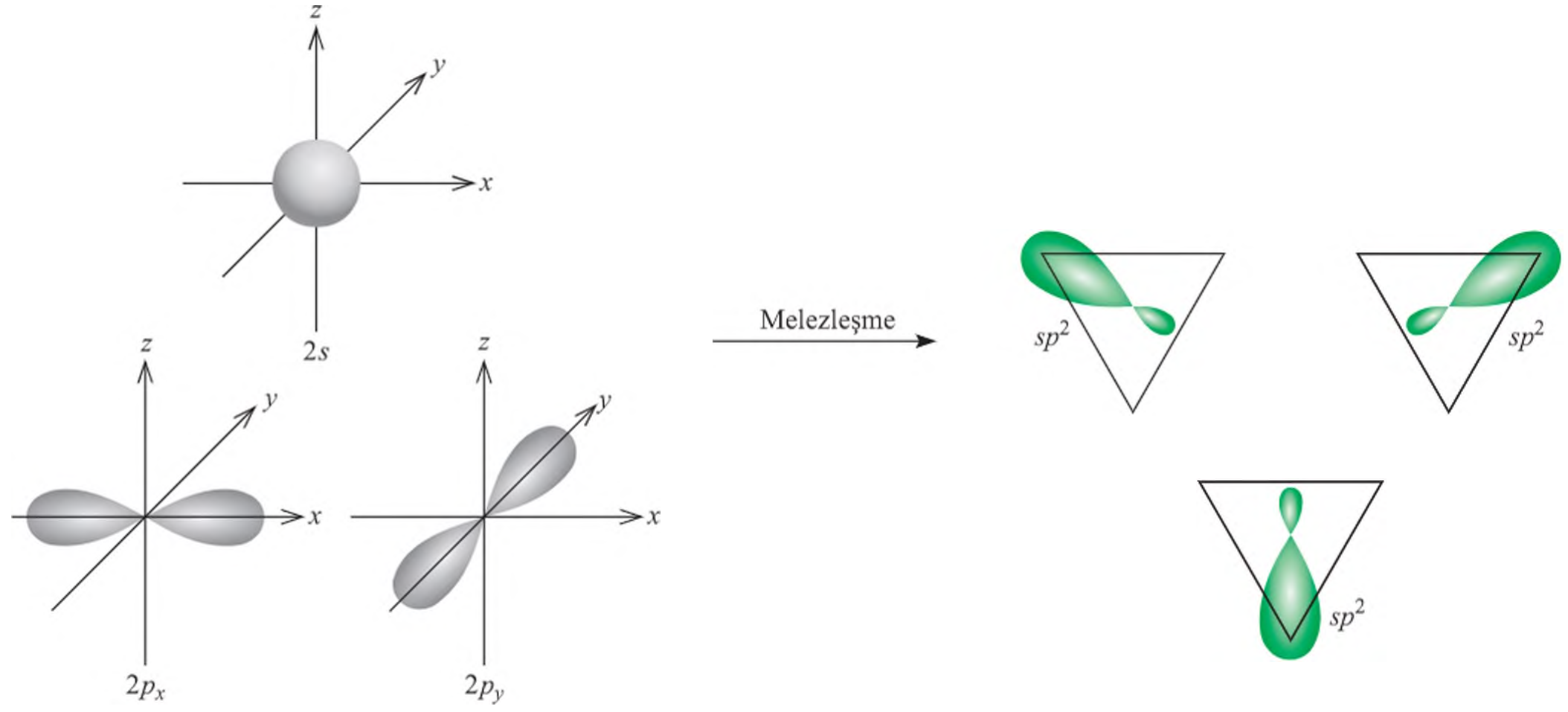
Bu durumda bir $2s$ orbitaliyle iki $2p$ orbitalinin karşmasından oluşan üç adet sp^2 melez orbitali meydana gelir:



Bu üç sp^2 melez orbitali aynı düzlemde yer alır ve herhangi ikisi arasındaki açı 120° dir (Şekil 10.12). BF bağlarının her biri bor atomunun bir sp^2 melez orbitali ile florun $2p$ orbitalinin örtüşmesiyle oluşur (Şekil 10.13). BF_3 molekülü düzlemseldir ve tüm FBF açıları 120° dir. Bu sonuç, deneysel sonuçlarla ve VSEPR ile öngörülen yapıyla uyum içindedir.

Şekil 10.11 BeCl_2 'nin doğrusal geometrisi Be 'un sp melezleşmesiyle açıklanabilir. İki sp melez orbitali iki klorun $3p$ orbitaleriyle iki kovalent bağ oluşturmak üzere örtüşür.

Melezleşme ile oktet kuralı arasındaki ilginç bir bağlantıya dikkat etmek gerekir. Melezleşme tipi ne olursa olsun, bir tane s ve üç tane p orbitali olan bir atomun, bileşikte toplam sekiz elektronu barındırabilecek olan dört orbitali olacaktır. Periyodik çizelgenin ikinci periyot elementlerinin herhangi bir atomunun değerlik kabuğunda barındırabileceği maksimum elektron sayısı sekizdir. Bunun nedeni, ikinci periyot elementlerinin çoğunlukla oktet kuralına uymasidir.



Şekil 10.12 sp^2 melez orbitallerinin oluşumu

Ancak bu durum üçüncü periyot elementine ait bir atom için farklıdır. Eğer bir molekülde melez orbitalleri oluşturmak için sadece $3s$ ve $3p$ orbitalleri kullanılırsa, bu oktet kuralına uyacaktır. Ancak, bazı moleküllerde melez orbitalleri oluşturmak için aynı atomun $3s$ ve $3p$ orbitallerinin yanısıra bir ya da daha fazla $3d$ orbitali de kullanılabilir. Bu durumda oktet kuralı geçerli olmaz. Burada melezleşmeye $3d$ orbitallerinin de katıldığı bazı örnekler incelenecektir.

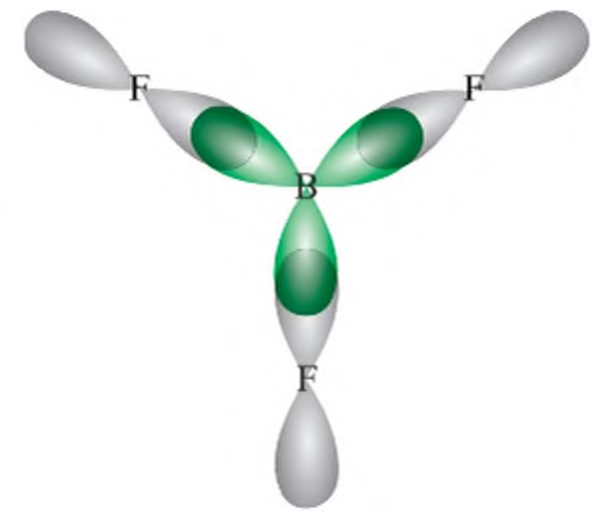
Melezleşme konusunda dikkat edilmesi gereken bazı hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- Melezleşme kavramı izole atomlara uygulanmaz. Bu, sadece kovalent bağ açıklamak için kullanılan kuramsal bir modeldir.
- Melezleşme, en az iki farklı atom orbitalinin karışmasıdır. Örneğin, s ve p orbitalleri gibi. Bu yüzden, bir melez orbital saf bir atom orbitali değildir. Melez orbitaller ve saf atom orbitalleri çok farklı şekillere sahiptirler.
- Oluşan melez orbitallerin sayısı, melezleşmeye katılan saf atom orbitallerinin sayısına eşittir.
- Melezleşme enerji gerektirir, ancak, sistem bağ oluşumu sırasında bu enerjinin daha fazlasını karşılar.
- Çok atomlu molekül ve iyonlardaki kovalent bağlar, melez orbitallerin ya da melez orbitallerle melez olmayan orbitallerin örtüşmesiyle oluşur. Bu yüzden melezleşme bağ şeması, değerlik bağ kuramının çerçevesi içindedir: moleküldeki elektronların atomların tek tek melez orbitallerini işgal ettiği kabul edilir.

Çizelge 10.4'de sp , sp^2 ve sp^3 melezleşmeleri özetlenmiştir. (Bu Çizelgede tıssaca inceleyeceğimiz başka melezleşme türleri de yer almıştır).

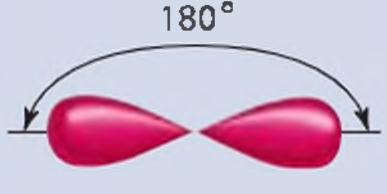
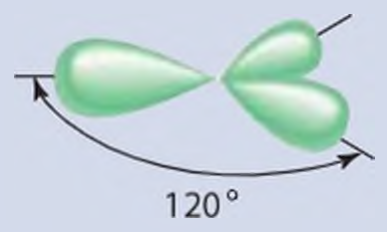
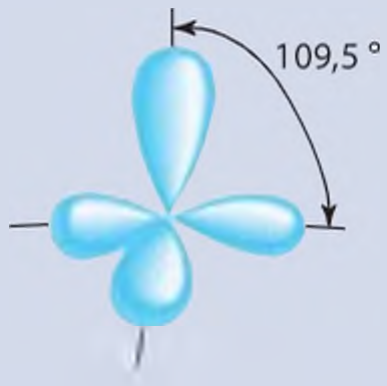
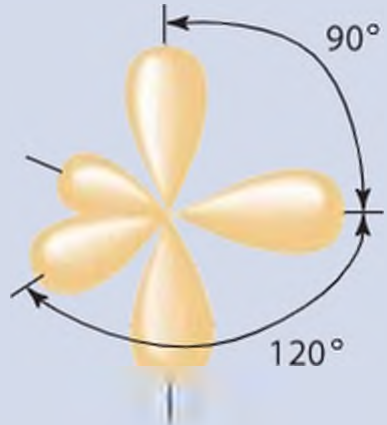
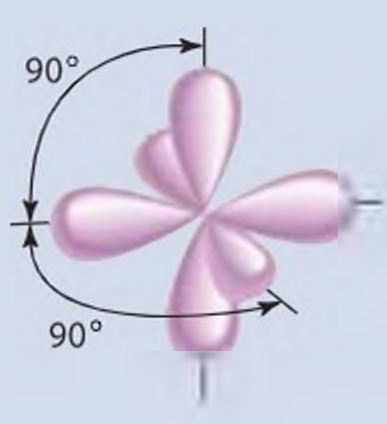
Atom Orbitallerinin Melezleşmesinde izlenecek Yol

d orbitallerinin melezleşmesini incelemeye başlamadan önce, genel olarak çok atomlu moleküllerdeki bağ oluşumuna melezleşmenin nasıl uygulanacağını öğrenelim. Melezleşme basitçe Lewis kuramı ve VSEPR modelini içerir. Bir molekülde merkez



Şekil 10.13 Borun sp^2 melez orbitalleri florun $2p$ orbitalleriyle örtüşür. BF_3 molekülü düzlemseldir ve tüm FBF açıları 120° dir.

Çizelge 10.4 Önemli Melez Orbitaler ve Biçimleri

Merkez Atomunun Saf Atom Orbitaleri	Merkez Atomunun Melezleşmesi	Melez Orbitalerin Sayısı	Orbitalerin Biçimleri	Örnekler
s, p	sp	2	 <p>Doğrusal</p>	BeCl_2
s, p, p	sp^2	3	 <p>Düzlem üçgen</p>	BF_3
s, p, p, p	sp^3	4	 <p>Dört yüzlü</p>	$\text{CH}_4, \text{NH}_4^+$
s, p, p, p, d	sp^3d	5	 <p>Üçgen bipiramit</p>	PCl_5
s, p, p, p, d, d	sp^3d^2	6	 <p>Sekiz yüzlü</p>	SF_6

atom için uygun olan melezleşmeyi ortaya koymak için molekül geometrisi hakkında bilginizin olması gerekir. Bunun için aşağıdaki sırayı izleyelim:

1. Molekülün Lewis yapısını çiziniz.
2. VSEPR modelini kullanarak elektron çiftlerinin (bağlayıcı ve yalın çiftlerin hepsi) toplam düzenlenimini gösteriniz (Bkz. Çizege 10.1).
3. Elektron çifti düzenlenmesi ile Çizelge 10.4'de gösterilen melez orbitalleri karşılaştırınız ve merkez atomun melezleşmesini belirleyiniz.

Örnek 10.3'de bu işlem gösterilmektedir.

Örnek 10.3

Aşağıdaki moleküllerin herbirinde merkez (altı çizili) atomun melezleşme türünü belirleyiniz: (a) $\underline{\text{BeH}_2}$, (b) $\underline{\text{AlI}_3}$ ve (c) $\underline{\text{PF}_3}$. Melezleşmelerini açıklayarak her biri için molekül geometrisini belirleyiniz.

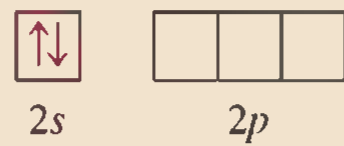
İzlenecek Yol Bir molekülde merkez atomun melezleşmesini belirlemek için adımlar:

molekülün Lewis yapısını yazınız	merkez atom etrafındaki elektron → çifti düzenlenimi için VSEPR kuramını kullanınız (Çizelge 10.1)	merkez atomu → melezleşme türü için Çizelge 10.4'e bakınız
----------------------------------	---	---

Çözüm (a) Be'un temel hal elektron dağılımı $1s^2 2s^2$ dir ve Be atomunun iki değerlik elektronu vardır. BeH_2 'nin Lewis yapısı ise şöyledir:



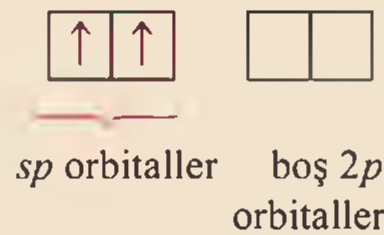
Be etrafında iki bağlayıcı elektron çifti vardır. Bu yüzden elektron çifti düzenlenimi doğrusaldır. Buradan Be'un H ile bağ oluşturmada sp melez orbitallerini kullandığı sonucunu çıkarırız. Çünkü sp orbitalleri doğrusal yönlenir (Çizelge 10.4'e bakınız.). Melezleşme aşağıda verildiği gibi gösterilebilir. Önce Be'un temel hal orbital dağılımını yazalım:



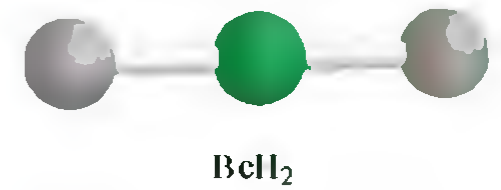
2s elektronlarından birinin 2p orbitaline aktarılmasıyla oluşan uyarılmış hal:



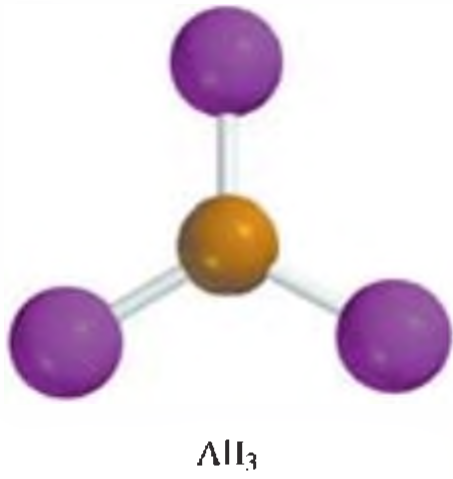
2s ve 2p orbitalleri iki melez orbital oluşturmak üzere karışırlar:



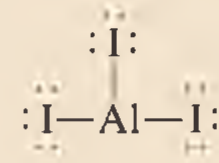
İki Be—H bağı, Be'un sp orbitallerinin H atomlarının 1s orbitalleriyle örtüşmesiyle oluşur. Bu yüzden BeH_2 doğrusal bir moleküldür.



(Devamı)



- (b) Al'un temel hal elektron dağılımı $[\text{Ne}]3s^23p^1$ dir. Bu yüzden, Al atomunun üç değerlik elektronu vardır. AlI_3 'ün Lewis yapısı:



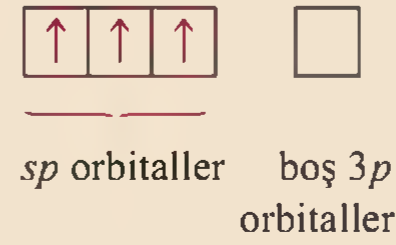
Al'un çevresinde üç elektron çifti bulunduğundan, elektron çifti düzenlenimi üçgen düzlemdir. Buradan Al'un I ile bağ oluştururken sp^2 melez orbitallerini kullandığı sonucu çıkar. Çünkü sp^2 orbitalleri üçgen düzlem düzenlenimine sahiptir (Çizelge 10.4 e bakınız). Al atomunun temel hal orbital diyagramı şöyledir.



$3s$ elektronlarından birinin $3p$ orbitaline aktarılmasıyla aşağıdaki uyarılmış hali elde ederiz.

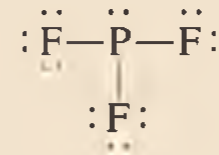


Daha sonra $3s$ ve $3p$ orbitalleri üç tane sp^2 melez orbitallerini vermek üzere karışırlar:



sp^2 melez orbitalleri üç tane kovalent Al-I bağı oluşturmak üzere I'un $5p$ orbitalleri ile örtüşür ve tüm AlI açılar 120° olur.

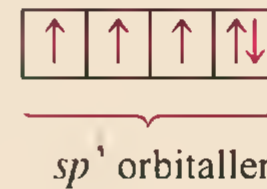
- (c) P'un temel hal elektron dağılımı $[\text{Ne}]3s^23p^3$ dir. P atomunun beş değerlik elektronu vardır. PF_3 'ün Lewis yapısı şöyledir:



P çevresinde dört elektron çifti olduğu için, elektron çifti düzenlenimi dörtyüzlüdür. Burada P'un F ile bağ oluştururken sp^3 melez orbitallerini kullandığı sonucunu çıkarırız. Çünkü sp^3 orbitalleri dörtyüzlü yönelir (Bkz. Çizelge 10.4). Buna göre melezleşme aşağıdaki gibi gösterilebilir. P'un temel hal orbital dağılımı:

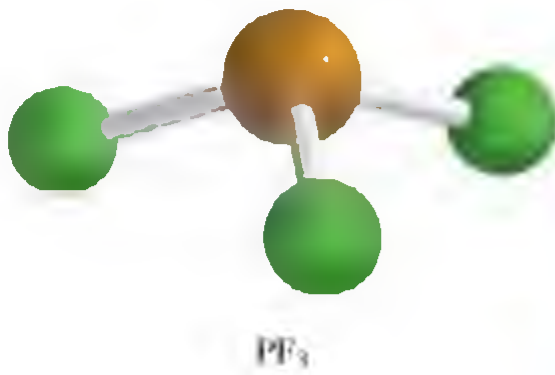


$3s$ ve $3p$ orbitallerinin karışmasıyla dört sp^3 melez orbitali elde ederiz.



NH_3 'da olduğu gibi, sp^3 melez orbitallerinden biri P üzerindeki yalnız elektron çiftini barındırır. Diğer üç melez sp^3 orbitalleri F'un $2p$ orbitalleriyle P—F kovalent bağlarını oluşturur. Molekülün geometrisini üçgen piramit olarak öngörürüz: FPF açısı da $109,5^\circ$ den biraz küçük olmalıdır.

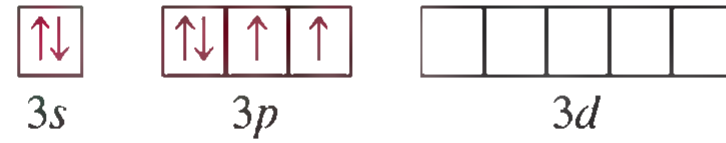
Alıştırma Aşağıdaki bileşiklerde altı çizili atomların melezleşme türünü belirleyiniz:
(a) Si Br_4 ve (b) B Cl_3



s, p ve d Orbitallerinin Melezleşmesi

s ve p orbitallerini içeren bağlanmanın melezleşme ile net bir şekilde açıklandığını gördük. Ancak, üçüncü ve sonraki periyot elementleri için, molekül geometrisini sadece s ve p orbitallerinin melezleştiğini varsayarak belirleyemeyiz. Örneğin, üçgen bipiramit ve sekizyüzlü geometriye sahip moleküllerin oluşumunu anlamak için melezleşme kavramının içine d orbitallerini de katmak gerekir.

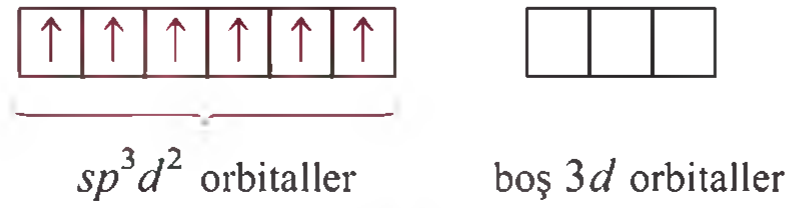
Örnek olarak SF₆ molekülünü gözöntüne alalım. Kesim 10.1'de bu molekülün altı elektron çiftinin düzenlenimiyle sekizyüzlü geometride olduğunu görmüştük. Çizelge 10.4'de S atomunun SF₆'da sp^3d^2 olarak melezleştiği görülmektedir. S'ün temel hal elektron dağılımı [Ne]3s²3p⁴ dir:



3d'nin düzeyi enerji bakımından 3s ve 3p düzeylerine çok yakın olduğundan, 3s ve 3p elektronları 3d orbitallerinin ikisine uyarılabilir:



Bu durumda bir 3s, üç 3p ve iki 3d orbitallerinin karışmasıyla altı tane sp^3d^2 melez orbitali oluşur.



Altı tane S—F bağı, S atomunun melez orbitalleri ile F atomlarının 2p orbitallerinin örtüşmesiyle oluşur. S atomu çevresinde 12 elektron bulunduğu için oktet kuralına uymaz. s ve p orbitallerinin kullanımına ek olarak d orbitallerinin kullanılmasıyla genişlemiş bir oktet (Kesim 9.9'a bakınız.) oluşması *değerlik kabuğu genişlemesinin* bir örneğidir. Üçüncü periyot elementlerinin aksine, ikinci periyot elementleri 2d enerji seviyeleri olmadığından, değerlik kabuklarını genişletmezler ($n = 2$ olduğunda $l = 0$ ve 1 değerlerini alabileceğini ve sadece 2s ve 2p orbitalleri bulunabileceğini hatırlatalım.). Bu nedenle, ikinci periyot elementlerinin atomları bileşiklerinde hiçbir zaman sekiz elektrondan fazlasıyla sınırlı olamazlar.

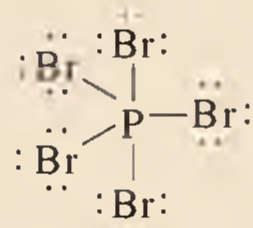
Örnek 10.4 üçüncü periyot elementlerinin değerlik kabuğu genişlemesiyle ilgilidir.

Örnek 10.4

Fosfor pentabromürde (PBr₅) fosforun melezleşmesini açıklayınız.

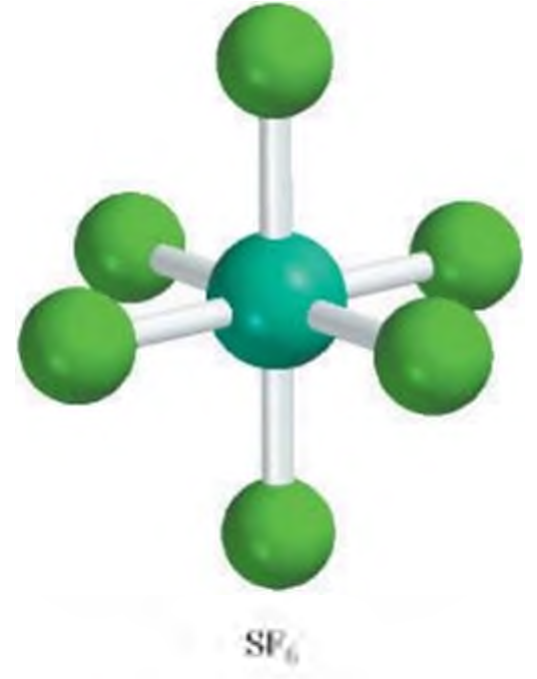
İzlenecek Yol Örnek 10.3'de verilen yolu izleyiniz.

Çözüm P'ün temel hal elektron dağılımı [Ne]3s²3p³'tür ve P atomunun beş değerlik elektronu vardır. PBr₅'in Lewis yapısı:

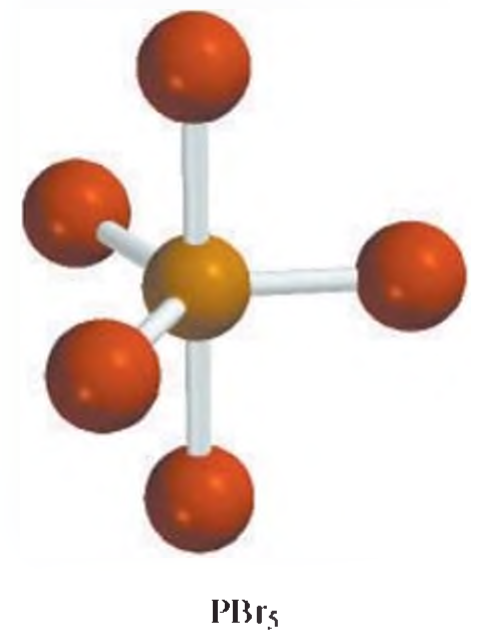


P çevresinde beş elektron çifti bulunduğu için, elektron çifti düzenlenimi üçgen bipiramittir. Buradan P'ün Br'a bağlanmasında sp^3d melez orbitallerinin kullanıldığı anlaşılır. Çünkü sp^3d melez orbitalleri üçgen bipiramit düzenlenimine sahiptir (Çizelge 10.4'e

(Devamı)



sp^3d^2 "s-p üç d iki." diye okunur



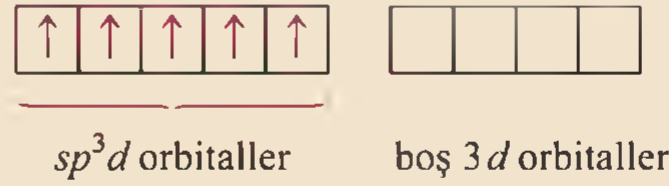
bakınız.). Buna göre melezleşme aşağıda verildiği gibi gösterilebilir. P atomunun temel hal orbital diyagramı şöyledir:



3s elektronlarından birinin 3d orbitallerinden birine aktarılmasıyla aşağıdaki uyarılmış hal elde edilir:



Bir 3s, üç 3p ve bir 3d orbitalinin karışmasıyla beş tane sp^3d melez orbitali oluşur:



Bu melez orbitaller Br'un 4p orbitalleriyle örtüşerek beş tane P—Br kovalent bağı oluştururlar. P atomu üzerinde ortaklanmamış elektron çifti bulunmadığı için PBr_5 'ün geometrisi üçgen bipiramittir.

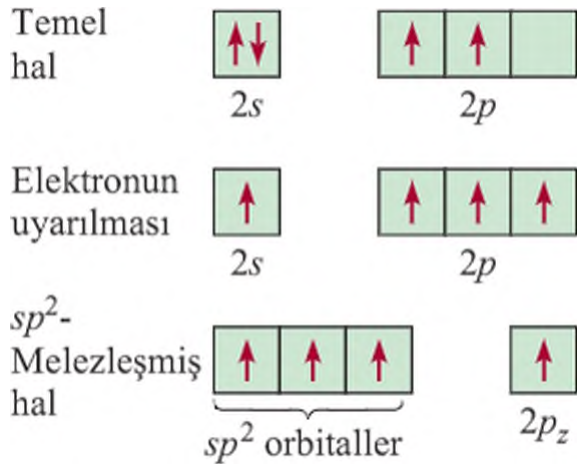
Alıştırma SeF_6 'da Se'un melezleşme türünü açıklayınız.

Berzer problem: 10.40.

Kavramların Değerlendirilmesi

XeF_4 'deki Xe'un melezleşmesi nedir (sayfa 398'deki Örnek 9.12'ye bakınız)?

10.5 İkili ve Üçlü Bağ İçeren Moleküllerde Melezleşme



Şekil 10.14 Karbon atomunun sp^2 melezleşmesi. 2s orbitali sadece iki 2p orbitalleri ile karışarak üç eşdeğer sp^2 melez orbitali oluşturur. Bu işlemle melezleşmemiş, $2p_z$ orbitalinde bir elektron kalır.

Animasyon
Sigma ve Pi Bağları

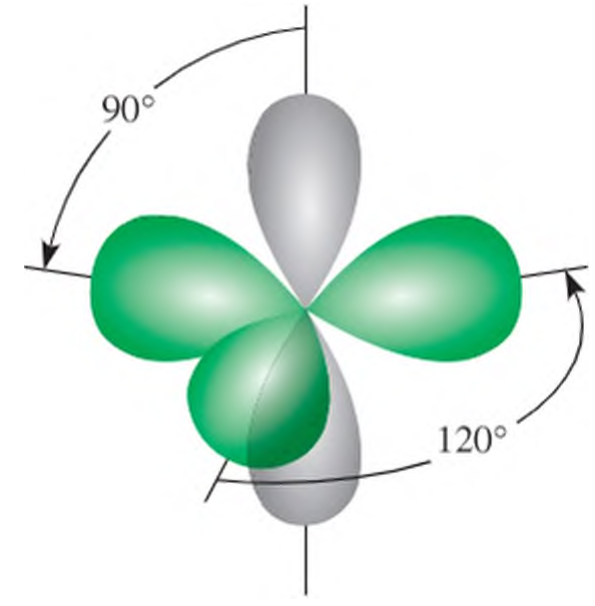
Melezleşme kavramı, ikili ve üçlü bağ içeren moleküller için de geçerlidir. Örnek olarak, etilen, C_2H_4 molekülünü ele alalım. Örnek 10.1'de C_2H_4 molekülünün bir tane karbon-karbon ikili bağı içerdiğini ve düzlemsel geometriye sahip olduğunu gördük. Her karbon atomunu sp^2 olarak melezleştirdiğini öngörürsek, hem geometrisi hem de bağ oluşumu anlaşılabilir. Şekil 10.14 bu melezleşmedeki orbital dizilimlerini göstermektedir. 2s orbitali ile sadece $2p_x$ ve $2p_y$ orbitalleri melezleşmekte, $2p_z$ orbitali ise değişmeden kalmaktadır. Şekil 10.15'de görüldüğü gibi, $2p_z$ orbitali, melez orbitallerin oluşturduğu düzleme diktir. O halde C atomlarının bağlanmasını nasıl açıklayacağız? Şekil 10.16(a)'da görüldüğü gibi, her karbon atomundaki üç sp^2 melez orbitalinden ikisi iki hidrojen atomunun 1s orbitaliyle iki tane bağ, komşu C atomunun sp^2 melez orbitaliyle de bir bağ yapar. Ayrıca, C atomlarının iki melezleşmemiş $2p_z$ orbitalleri yandan örtüşerek başka bir bağ oluşturur (π) [Şekil 10.16(b)].

C_2H_4 'de bahsedilen iki tür kovalent bağ arasında bir farklılık vardır. Şekil 10.16(a)'da her C atomunun yaptığı üç bağın hepsi **sigma bağları** (σ) dır. Bunlar orbitallerin uç uca örtüşmesiyle oluşur; elektron yoğunluğu bağlanan atomların çekirdekleri arasında yoğunlaşmıştır. İkinci tip bağ ise pi bağı (π bağı) olarak adlandırılır. Bu bağ orbitallerin yandan (paralel) örtüşmesiyle oluşan kovalent bağ olarak tanımlanır. Burada elektron yoğunluğu bağlanan atomların çekirdek düzleminin üstünde ve altında yoğunlaşmıştır. Şekil 10.16(b)'de görüldüğü gibi, iki C atomu bir pi bağı oluşturur. Bu pi bağı oluşumu etilene düzlemsel bir geometri verir. Şekil 10.16(c) sigma

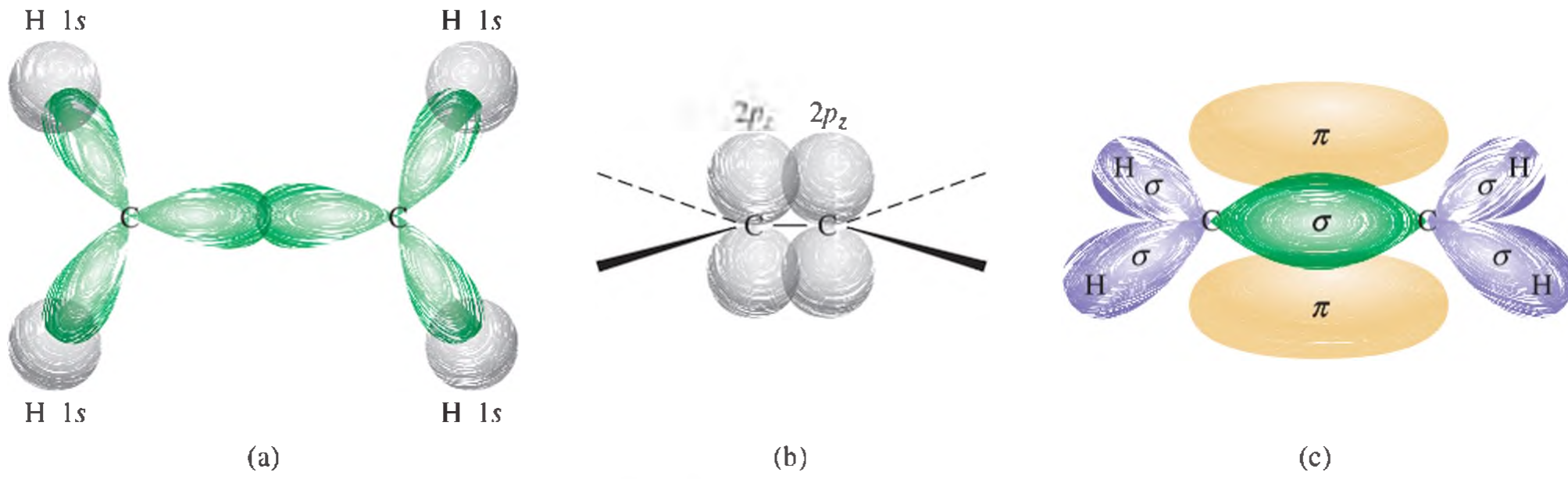
ve pi bağlarının yönlenişini gösterir. Şekil 10.17 ise düzlemsel C_2H_4 molekülüne bir başka bakışı ve pi bağı oluşumunu gösterir. Normal olarak karbon-karbon çift bağı $C=C$ olarak (Lewis yapısında) göstermemize karşın bu iki bağı farklı türde olduğunu unutmamak gerekir: Biri sigma bağı, diğeri bir pi bağıdır. Karbon-karbon pi ve sigma bağlarının ölçülen bağ enerjileri yaklaşık 270 kJ/mol ve 350 kJ/mol'dür.

Asetilen (C_2H_2) molekülü, karbon-karbon üçlü bağı içerir. Molekül doğrusal olduğu için geometrisini ve bağ oluşumunu, her C atomunun $2s$ ve $2p_x$ orbitallerinin sp melezleşmesiyle açıklayabiliriz (Şekil 10.18). Şekil 10.19'da görüldüğü gibi, her C atomunun iki sp melez orbitalinden birisi hidrojenin $1s$ orbitali ile bir sigma bağı, diğeri ise ikinci C atomuyla başka bir sigma bağı oluşturur. Buna ilaveten iki pi bağı melezleşmemiş $2p_y$ ve $2p_z$ orbitallerinin yandan (paralel) örtüşmesiyle oluşur. Böylece, $C\equiv C$ bağı bir sigma ve iki pi bağından meydana gelir.

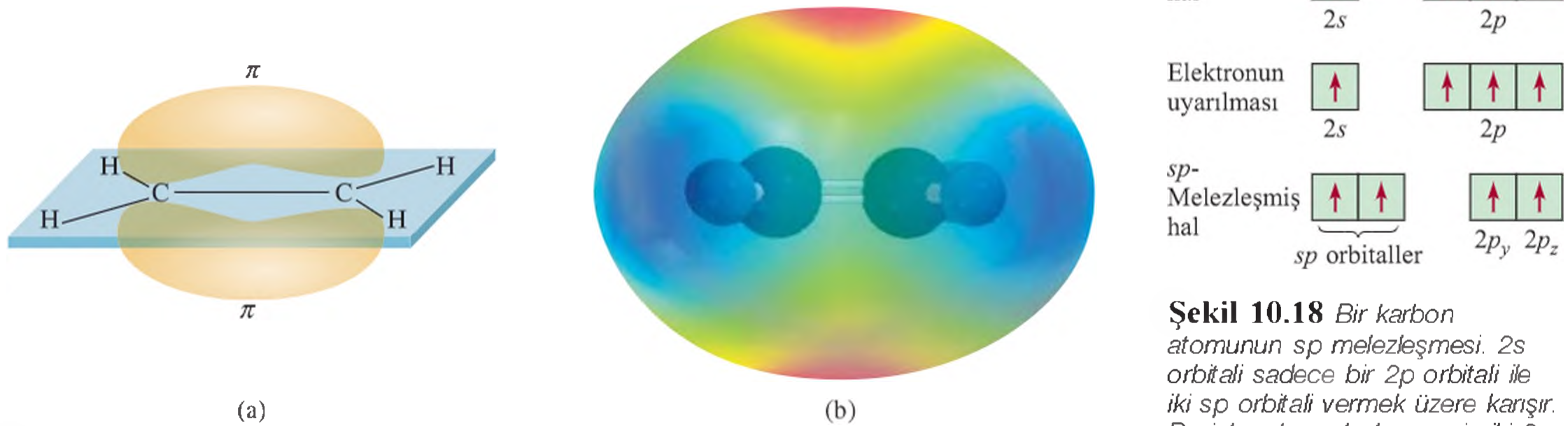
Çoklu bağ içeren moleküllerdeki melezleşmeyi öngörmemize şu kural yardım eder: Merkez atom bir ikili bağ yapmışsa sp^2 melezleşmiştir; eğer iki tane ikili bağ ya da üçlü bağ varsa sp melezleşmesi yapmıştır. Bu kuralın sadece ikinci periyot elementlerinin atomlarına uygulandığına dikkat etmek gerekir. Üçüncü ve daha sonraki periyot elementlerinin atomları çoklu bağ yapmışsa daha karmaşık bir durum söz konusudur ve burada bundan bahsedilmeyecektir.



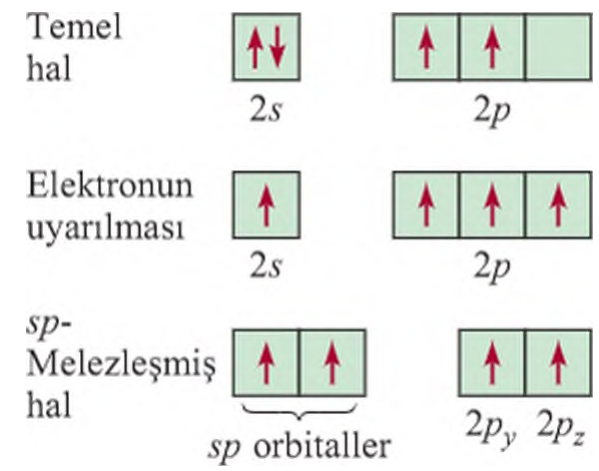
Şekil 10.15 C_2H_4 molekülünde her karbon atomunun üç sp^2 melez orbitali (yeşil), bir melezleşmemiş $2p_z$ orbitali (gri) vardır. $2p_z$ orbitali melez orbitallerin oluşturduğu düzleme diktir.



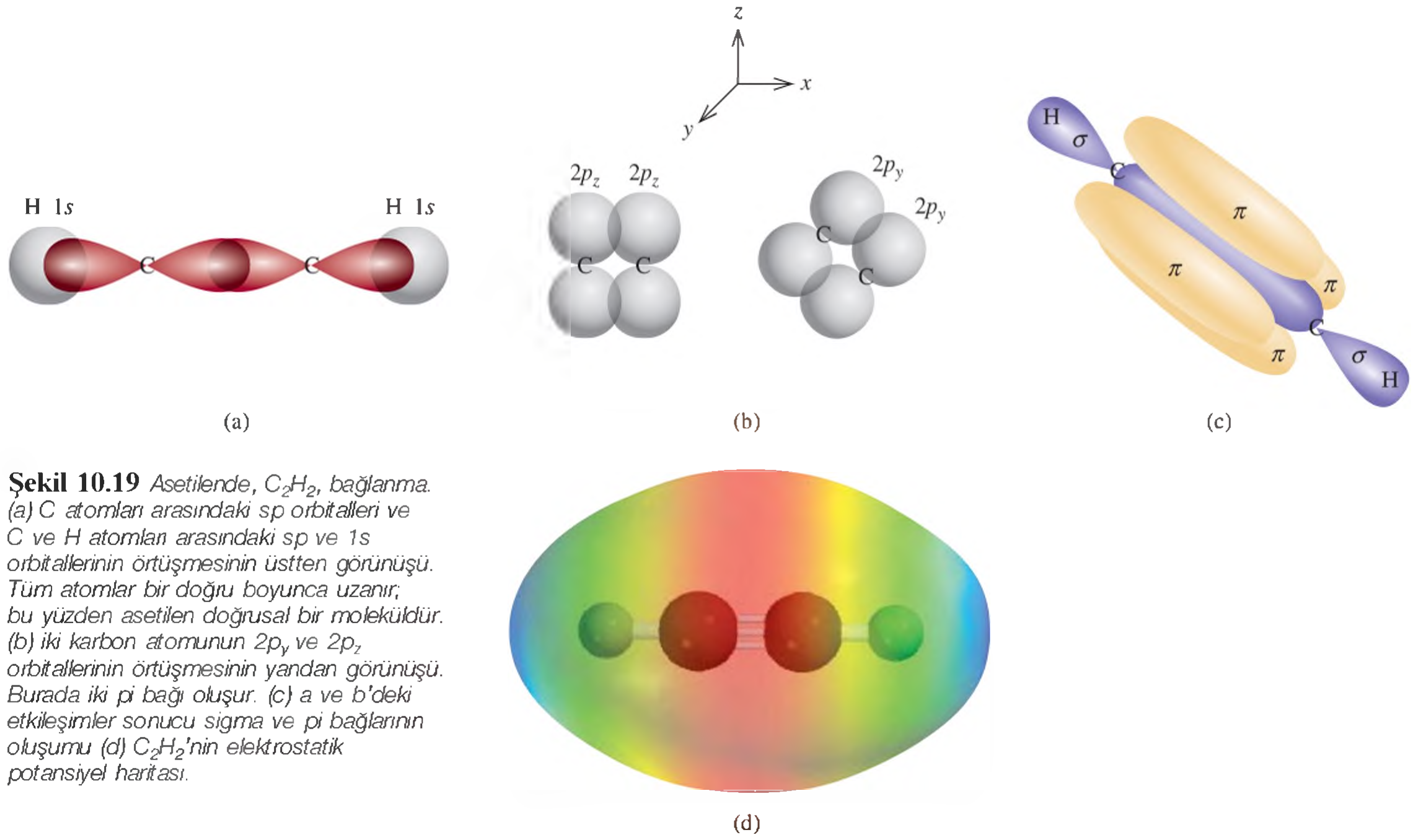
Şekil 10.16 Etilen, C_2H_4 'de, bağ oluşumu. (a) Karbon atomları ve karbon ile hidrojen atomları arasındaki sigma bağlarının üstten görünüşü. Tüm atomlar aynı düzlemde yer alır ve bu C_2H_4 molekülünün düzlemsel olmasını sağlar. (b) İki karbon atomunda bulunan $2p_z$ orbitallerinin bir pi bağı oluşumu için örtüşmesinin yandan görünüşü. (c) (a) ve (b)'deki etkileşimler, etilen molekülünde sigma bağları ile pi bağının oluşmasına neden olur. pi bağının molekül düzleminin üzerinde ve altında uzandığına dikkat ediniz.



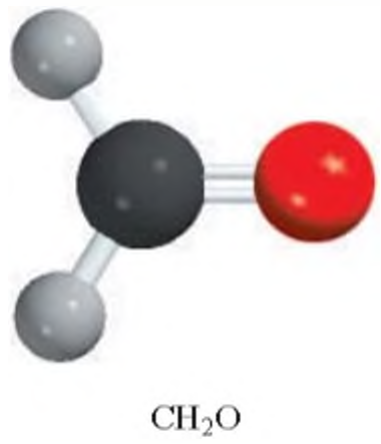
Şekil 10.17 (a) C_2H_4 molekülünde pi bağı oluşumunun farklı bir görünümü. Altı atomun hepsinin aynı düzlemde bulunduğuna dikkat ediniz. Molekülün düzlemsel olmasına $2p_z$ orbitallerinin örtüşmesi neden olur. (b) C_2H_4 'in elektrostatik potansiyel haritası.



Şekil 10.18 Bir karbon atomunun sp melezleşmesi. $2s$ orbitali sadece bir $2p$ orbitali ile iki sp orbitali vermek üzere karışır. Bu işlemde melezleşmemiş iki $2p$, yani $2p_y$ ve $2p_z$ orbitallerinin her birinde bir elektron kalır.

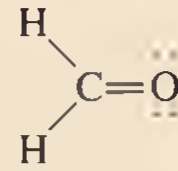


Şekil 10.19 Asetilende, C_2H_2 , bağlanma. (a) C atomları arasındaki sp orbitalleri ve C ve H atomları arasındaki sp ve $1s$ orbitallerinin örtüşmesinin üstten görünüşü. Tüm atomlar bir doğru boyunca uzanır; bu yüzden asetilen doğrusal bir moleküldür. (b) iki karbon atomunun $2p_y$ ve $2p_z$ orbitallerinin örtüşmesinin yandan görünüşü. Burada iki π bağı oluşur. (c) a ve b'deki etkileşimler sonucu sigma ve pi bağlarının oluşumu (d) C_2H_2 'nin elektrostatik potansiyel haritası.



Örnek 10.5

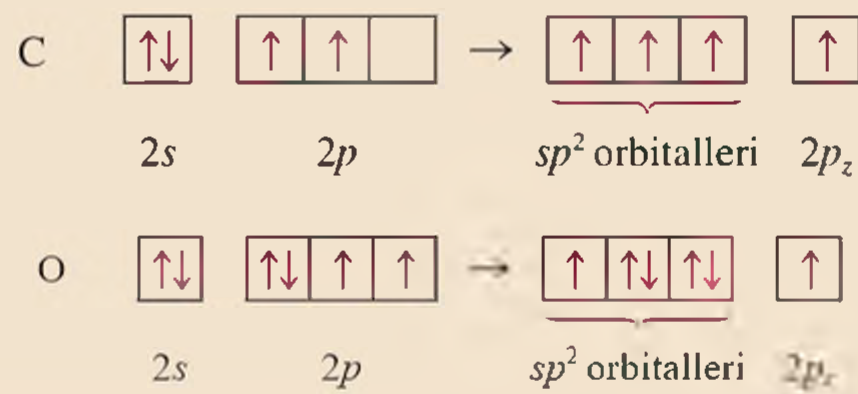
Aşağıda Lewis yapısı verilen formaldehit molekülündeki bağ oluşumunu açıklayınız.



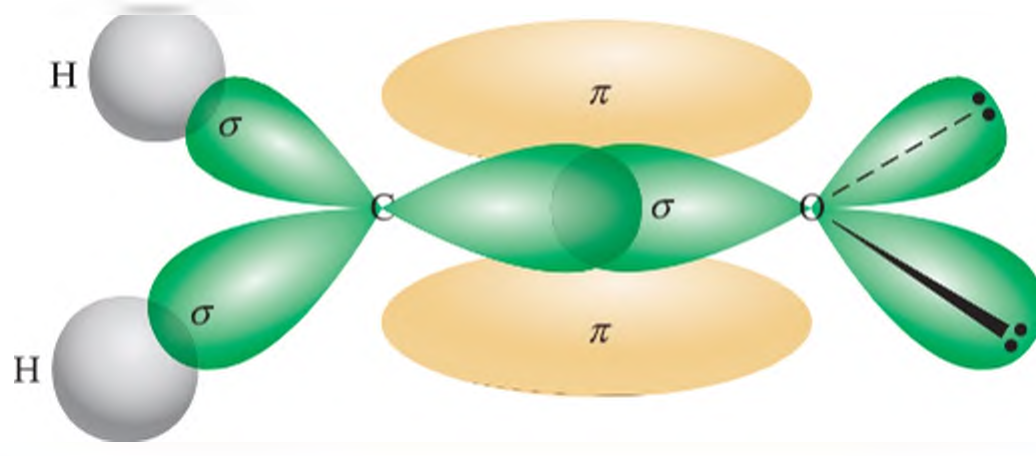
O atomunun sp^2 -melezleştiğini kabul edelim.

İzlenecek Yol Örnek 10.3'de gösterilen yolu izleyiniz.

Çözüm C atomu çevresinde üç çift elektron olduğu için elektron çifti düzenlenimi üçgen düzlemdir. (VSEPR modelinde bir ikili bağın tekli bağ gibi düşünüldüğünü hatırlayınız.) sp^2 melez orbitalleri üçgen düzlem geometrisine sahip olduğundan, bağ oluşumunda C atomu sp^2 melez orbitalilerini kullanır (Çizelge 10.4'e bakınız.). C ve O için melezleşmeyi aşağıdaki gibi yazabiliriz.



(Devamı)



Şekil 10.20 Formaldehit molekülünde bağ oluşumu. Karbonun sp^2 melez orbitali ile oksijenin sp^2 melez orbitalinin örtüşmesiyle bir sigma bağı, karbon ve oksijen atomlarının $2p_z$ orbitallerinin örtüşmesiyle bir pi bağı oluşur. Oksijen üzerindeki iki yalın çift, oksijenin diğer iki sp^2 melez orbitalinde bulunur.

Karbonun üç sp^2 orbitallerinin herbirinde bir elektron vardır ve bunları kullanarak, H ve O atomlarıyla sigma bağları oluşturur. $2p_z$ orbitalindeki bir elektron ise oksijenle bir pi bağı oluşturur. Oksijenin iki sp^2 melez orbitali üzerinde yalın elektron çiftleri bulunur. Bir elektron bulunan üçüncü sp^2 melez orbitali ise karbonla bir sigma bağı oluşturmak için kullanılır. Tek elektron bulunduran $2p_z$ orbitali C'nin $2p_z$ orbitali ile bir pi bağı oluşturmak üzere örtüşür (Şekil 10.20).

Alıştırma Hidrojen siyanür. HCN, molekülünde bağ oluşumunu açıklayınız. N'nin sp melezleştiğini öngörünüz.

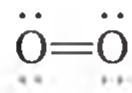
Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda komşu çekirdeklerdeki atom orbital çiftlerinden hangileri bir sigma bağı ya da pi bağı oluşturmak üzere örtüşebilir? Hangileri örtüşemez(bağ oluşmaz)? Çekirdeklerarası eksen olarak x eksenini gözönüne alınız. (a) $1s$ ve $2s$, (b) $1s$ ve $2p_x$, (c) $2p_y$ ve $2p_y$, (d) $3p_y$ ve $3p_z$, (e) $2p_x$ ve $3p_x$.

10.6 Molekül Orbital Kuramı

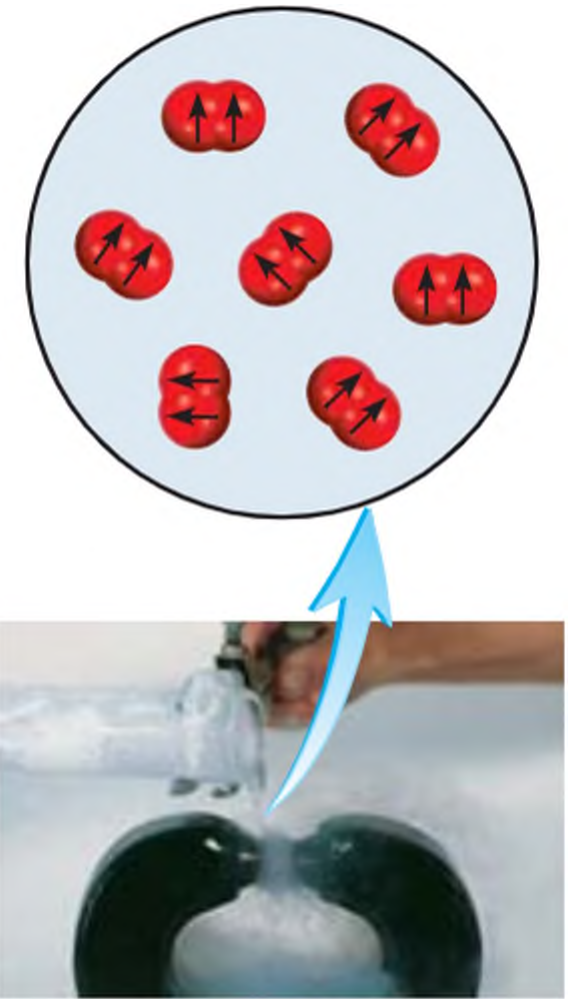
Değerlik bağ kuramı, molekülde bağ oluşumunu açıklayan iki kuantum mekaniksel yaklaşımdan biridir. Bu kuram, bağ kararlılığını atom orbitallerinin örtüşmesiyle en azından nitel olarak açıklar. Değerlik bağ kuramı, melezleşme kavramını kullanarak VSEPR modeli ile öngörülen molekül geometrilerini açıklayabilir. Ancak, bir moleküldeki elektronların atom orbitallerinde bulunduğu varsayımı sadece bir yaklaşım olabilir. Çünkü moleküldeki her bağlayıcı elektron, molekülün tamamının bir özelliği olan belirli bir orbitalde bulunmalıdır.

Bazen, değerlik bağ kuramı moleküllerin gözlenen özelliklerini açıklamada yeterli olmaz. Örneğin aşağıda Lewis yapısı gösterilen oksijen molekülünü ele alalım.



Yukarıda görüldüğü gibi O_2 'deki tüm elektronlar eşleşmiştir ve oksijen bu yüzden diyamanyetik olmalıdır. Ancak deneysel veriler oksijenin iki tane eşleşmemiş elektronu olduğunu göstermiştir (Şekil 10.21). Buna göre, değerlik bağ kuramında bir eksiklik olmalıdır. Yani, değerlik bağ kuramının öngörülerıyla örtüşmeyen O_2 ve başka moleküllerin özelliklerini açıklayabilecek bir başka bağlanma seçeneğine ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmaktadır.

Moleküllerin manyetik ve başka özellikleri, *molekül orbital (MO) kuramı* olarak adlandırılan başka bir kuantum mekaniksel yaklaşımla bazen daha iyi açıklanabilir. Molekül orbital kuramı, kovalent bağları, *bağlanan atomların orbitallerinin etkileş-*

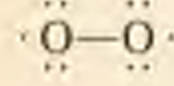


Şekil 10.21 Sıvı oksijen bir mıknatısın kutupları arasında tutulmaktadır. Çünkü O_2 molekülleri paramanyetiktir.

mesiyle oluşan ve tüm moleküle ait **molekül orbitalleri** temelinde açıklar. Bir molekül orbitali ile atom orbitali arasındaki fark, atom orbitalinin sadece tek bir atoma oysa molekül orbitalinin tüm moleküle ait olmasıdır.

Kavramların Değerlendirilmesi

O₂ molekülünün iki tane eşleşmemiş elektron içermesi gerçeğinden hareketle, Lewis yapısı aşağıdaki gibide yazılabilir:



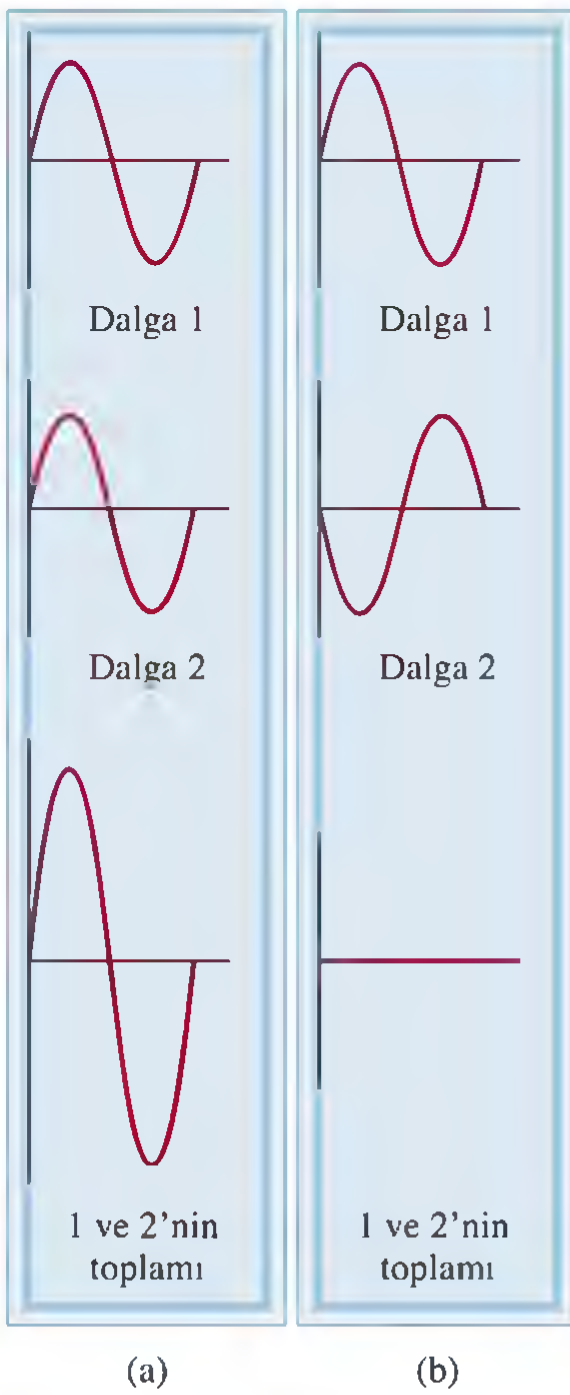
Bu yapının uygun olmadığına ilişkin iki sebep söyleyiniz.

Bağlayıcı ve Karşıt Bağlayıcı Molekül Orbitalleri

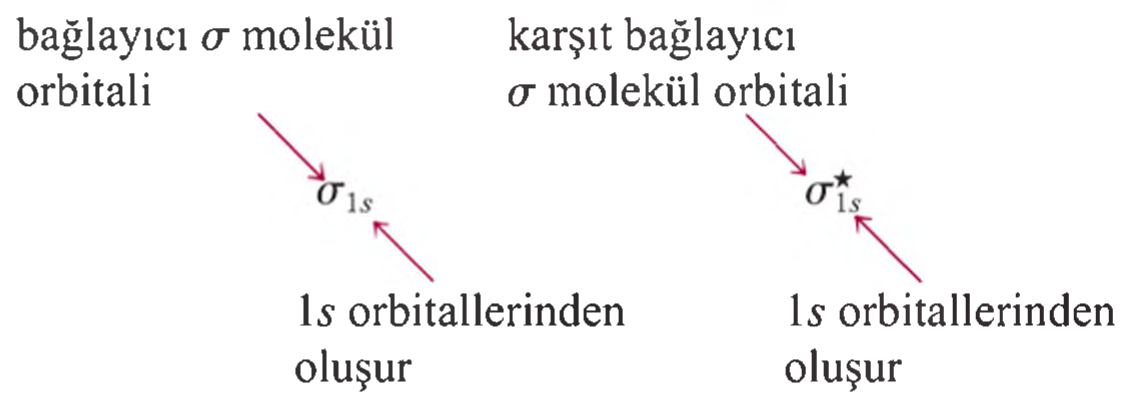
MO kuramına göre, iki hidrojen atomunun 1s orbitallerinin örtüşmesi, iki molekül orbitalinin oluşmasına neden olur. Bunlardan biri *oluştugu atom orbitallerinden daha düşük enerjili ve daha kararlı olan bağlayıcı molekül orbitalidir*. Diğeri ise *oluştugu atom orbitallerinden daha yüksek enerjili ve daha az kararlı olan karşıt bağlayıcı molekül orbitalidir*. Bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı adlandırması, bağlayıcı molekül orbitalinde yer alan elektronların kararlı bir kovalent bağ oluşturduğunu, ancak karşıt bağlayıcı molekül orbitalinde yer alan elektronların kararsız bir bağ oluşturduğunu belirtir.

Bağlayıcı molekül orbitalinde, elektron yoğunluğu bağlanan atomların çekirdekleri arasında en fazladır. Karşıt bağlayıcı molekül orbitalinde ise çekirdeklerarası bölgede elektron yoğunluğu sıfıra yaklaşır. Orbitallerdeki elektronların dalga özelliklerini hatırlarsak, bu farkı daha iyi anlayabiliriz. Aynı türde iki dalga etkileştiğinde, oluşan dalganın genliğinin ya artması ya da azalması dalgalara özgü bir özelliktir. Oluşan dalganın genliği artmışsa, bu etkileşimi *yapıcı girişim*, azalmışsa *yıkıcı girişim* olarak adlandırırız (Şekil 10.22).

Bağlayıcı molekül orbitallerinin oluşumu yapıcı girişime (genlikte artış, iki çekirdek arasında elektron yoğunluğu oluşmasına benzer) karşılık gelir. Karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinin oluşumu ise yıkıcı girişime karşılık gelir (genlikte azalma, iki çekirdek arasında elektron yoğunluğunda azalmaya benzer). H₂ molekülünde, iki 1s orbitali arasındaki yapıcı ve yıkıcı girişimler bir sigma bağlayıcı molekül orbitali (σ_{1s}) ile, bir sigma karşıt bağlayıcı molekül orbitali (σ_{1s}^*) oluşumuna neden olur:

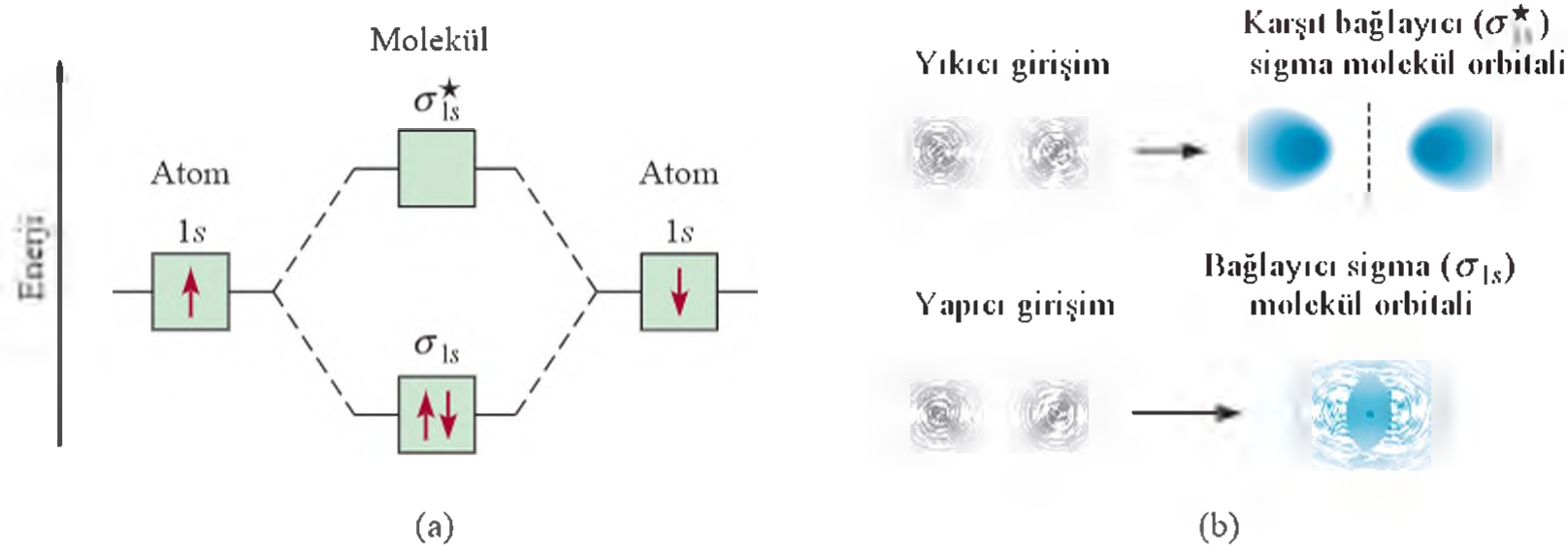


Şekil 10.22 Aynı dalga boyu ve genlikte iki dalganın (a) yapıcı girişimi (b) yıkıcı girişimi.



Burada “yıldız” orbitalin karşıt bağlayıcı olduğunu gösterir.

Bir **sigma molekül orbitalinde** (bağlayıcı ya da karşıt bağlayıcı) *elektron yoğunluğu, bağlanan atomların çekirdeklerini birleştiren bir doğru etrafında simetrik olarak yoğunlaşmıştır* (Kesim 10.5’e bakınız.). Bir tekli kovalent bağın (H—H ya da F—F gibi) daima sigma bağı olduğu unutulmamalıdır.

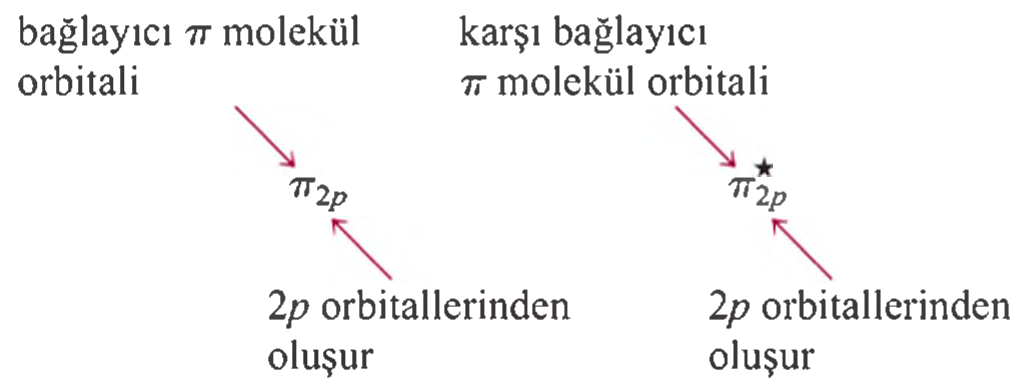


Şekil 10.23 (a) H₂ molekülünde bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinin enerji düzeyleri. 1s orbitallerindeki iki elektronun Pauli dışlama ilkesine göre zıt spinli olması gerektiğine dikkat ediniz. Enerjisi daha yüksek molekül orbitallerindeki elektronların daha az kararlı olduğunu unutmayınız. (b) İki hidrojenin 1s orbitalleri arasındaki yapıcı ve yıkıcı etkileşimler bir bağlayıcı bir de karşıt bağlayıcı molekül orbitali oluşturur. Bağlayıcı molekül orbitalinde, çekirdekler arasında elektron yoğunluğu oluşur. Bu, pozitif yüklü çekirdekleri birarada tutan negatif yüklü bir "tutkal" gibi davranır. "Karşıt bağlayıcı orbitalde çekirdekler arasında bir düğüm düzlemi vardır ve burada elektron yoğunluğu sıfırdır".

Şekil 10.23 molekül orbital enerji düzeyi diyagramını gösterir. Bu diyagramı, H₂ molekülü oluşumunda meydana gelen orbitallerin enerji düzeylerini ve iki 1s orbitali arasındaki yapıcı ve yıkıcı etkileşimleri gösterir. Karşıt bağlayıcı molekül orbitalinde çekirdekler arasındaki sıfır elektron yoğunluğunu gösteren bir düğüm olduğuna dikkat ediniz. Çekirdekler bir arada tutulmaktan ziyade, pozitif yükleriyle birbirlerini iterler. Karşıt bağlayıcı molekül orbitalindeki elektronlar, izole atomlardakilere göre daha yüksek enerjiye (daha az kararlılık) sahiptirler. Diğer taraftan, bağlayıcı molekül orbitalindeki elektronlar atomların izole durumlarına göre daha az enerjiye (daha çok kararlılık) sahiptirler.

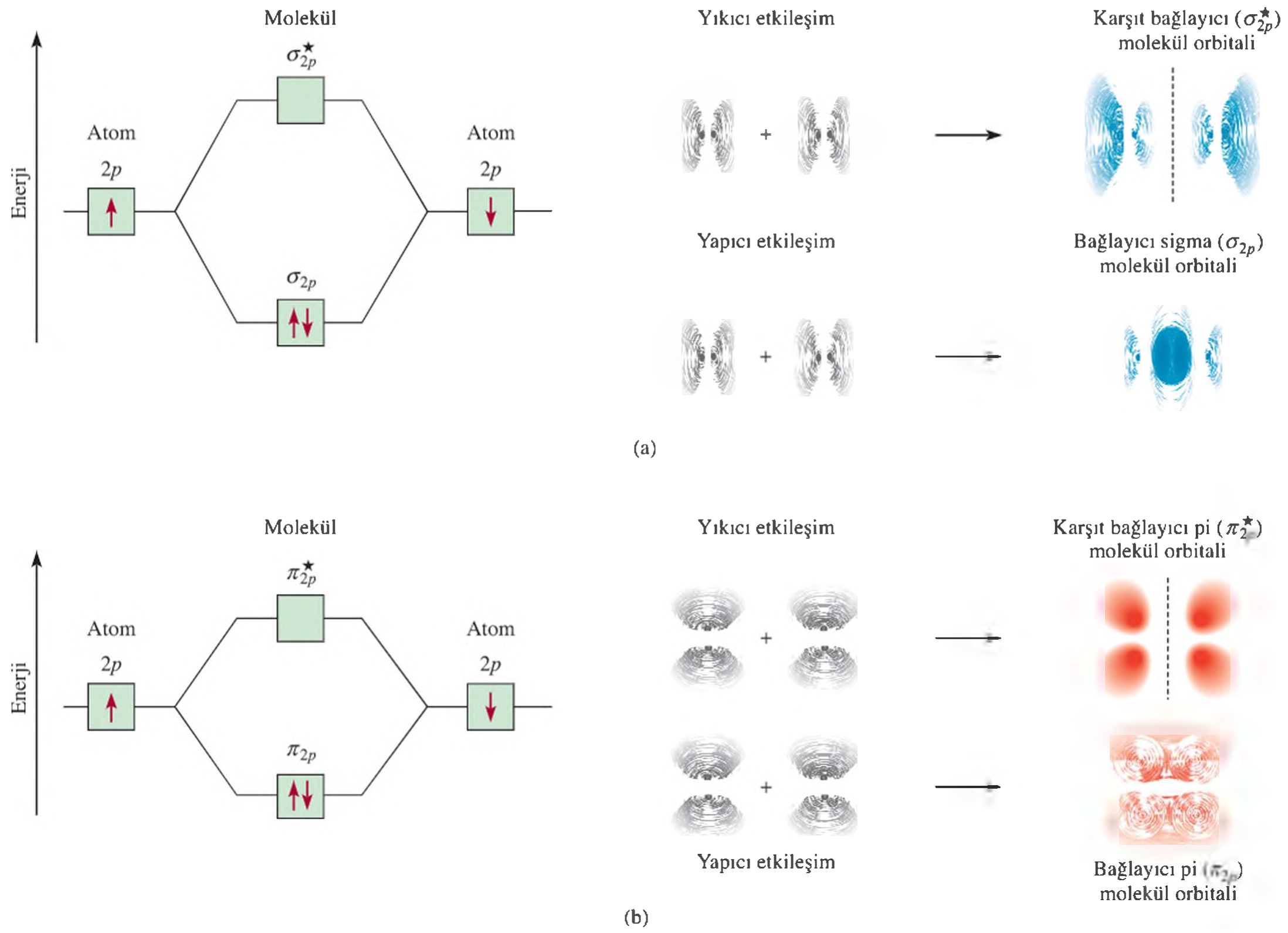
Molekül orbitallerinin oluşumunu göstermek için hidrojen molekülünü kullanmamıza karşın, bu kavram diğer moleküllere de aynı şekilde uygulanabilir. H₂ molekülünde, sadece 1s orbitalleri arasındaki etkileşimi gözönüne aldık. Daha karmaşık moleküllerde bu orbitallerin yanısıra ilave atom orbitallerini de gözönüne almamız gerekecektir. Bununla beraber tüm s orbitalleri için yapılacak işlem. 1s orbitalleriyle aynıdır. Şekil 10.23'de bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinin oluşumu verilmiştir. İki tane 2s ya da 3s orbitalleri arasındaki etkileşim molekül orbital enerji düzeyi dağılımlarıyla anlaşılabilir.

p orbitalleri için yapılacak işlem daha karmaşıktır. Çünkü bu orbitaller birbirleriyle iki farklı şekilde etkileşebilir. Örneğin, iki 2p orbitali Şekil 10.24 (a)'da görüldüğü gibi bir sigma bağlayıcı ve bir de sigma karşıt bağlayıcı molekül orbitali oluşturmak üzere uç uca yaklaşabilir. Ayrıca iki p orbitali bir bağlayıcı bir de karşıt bağlayıcı pi molekül orbitali oluşturmak üzere yandan da (paralel) örtüşebilir [Şekil 10.24(b)].



Bir *pi molekül orbitalinde* (bağlayıcı ya da karşıt bağlayıcı), *elektron yoğunluğu bağlanan atomların çekirdeklerini birleştiren bir doğrunun üstünde ve altında yoğunlaş-*

Sigma molekül orbitalinde iki elektron eşleşmiştir. Pauli dışlama ilkesi, atomlara olduğu gibi moleküllere de uygulanır.



Şekil 10.24 İki eşdeğer p orbitali arasındaki iki olası etkileşim ve karşılık gelen molekül orbitali. (a) p orbitalleri uç uca örtüştüğünde, bir σ bağlayıcı ve bir σ^* karşıt bağlayıcı molekül orbitali oluşur. (b) p orbitalleri yandan (paralel) örtüştüğünde, bir π bağlayıcı ve bir π^* karşıt bağlayıcı molekül orbitali oluşur. Normal olarak, bir σ bağlayıcı molekül orbitali, bir π bağlayıcı molekül orbitalinden daha karardır, çünkü yandan etkileşim p orbitallerinin uç uca etkileşiminden daha az örtüşmeye neden olur. $2p_x$ orbitallerinin σ molekül orbital oluşumuna katıldığını varsayınız. $2p_y$ ve $2p_z$ orbitalleri sadece π molekül orbitalini oluşturmak üzere etkileşebilir. (b) de gösterilen davranış $2p_y$ ya da $2p_z$ orbitalleri arasındaki etkileşimi göstermektedir. Her iki durumda da, kesikli çizgi çekirdekler arasında bir düğüm düzlemini gösterir ki burada elektron yoğunluğu sıfırdır.

mıştır. pi molekül orbitalindeki iki elektron bir pi bağı oluşturur (Kesim 10.5'e bakınız.). İkili bağ her zaman sigma ve pi bağından; üçlü bağ ise bir sigma ve iki pi bağından oluşur.

10.7 Molekül Orbital Dağılımları

Moleküllerin özelliklerini anlayabilmek için, elektronların molekül orbitallerine nasıl dağıldığını bilmemiz gereklidir. Bir molekülün elektron dağılımını belirlemek için yapılacak işlem, atomların elektron dağılımlarını belirleme ile benzerdir (Kesim 7.8'e bakınız.).

Molekül Elektron Dağılımını ve Kararlılığını Yönlendiren Kurallar

Bir molekülün elektron dağılımını yazmak için, önce molekül orbitallerini artan enerjilerine göre düzenlemeliyiz. Sonra molekül orbitallerini elektronlarla doldurmak için aşağıdaki kurallar uygulanabilir. Bu kurallar molekül orbitallerinin kararlılıklarını anlamamıza da yardımcı eder.

1. Oluşan molekül orbitallerinin sayısı daima etkileşen atom orbitallerinin sayısına eşittir.
2. Bağlayıcı molekül orbitali daha kararlı, karşılık gelen karşıt bağlayıcı molekül orbitali ise daha kararsızdır.
3. Molekül orbitallerinin doldurulması, düşük enerjiden yüksek enerjiliye doğrudur. Kararlı bir molekülde, bağlayıcı molekül orbitallerindeki elektronların sayısı her zaman karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinkinden daha fazladır. Çünkü elektronlar önce daha düşük enerjili bağlayıcı molekül orbitallerine yerleştirilir.
4. Bir atom orbitali gibi, her molekül orbitali de Pauli dışlama ilkesine göre zıt spinli iki elektron barındırabilir.
5. Elektronlar aynı enerjili molekül orbitallerine yerleştirilirken en kararlı düzenlenme Hund kuralına göre belirlenir. Yani elektronlar bu molekül orbitallerine paralel spinle girerler.
6. Molekül orbitallerin elektron sayısı, bağlanan tüm atomların elektronları toplamına eşittir.

Hidrojen ve Helyum Molekülleri

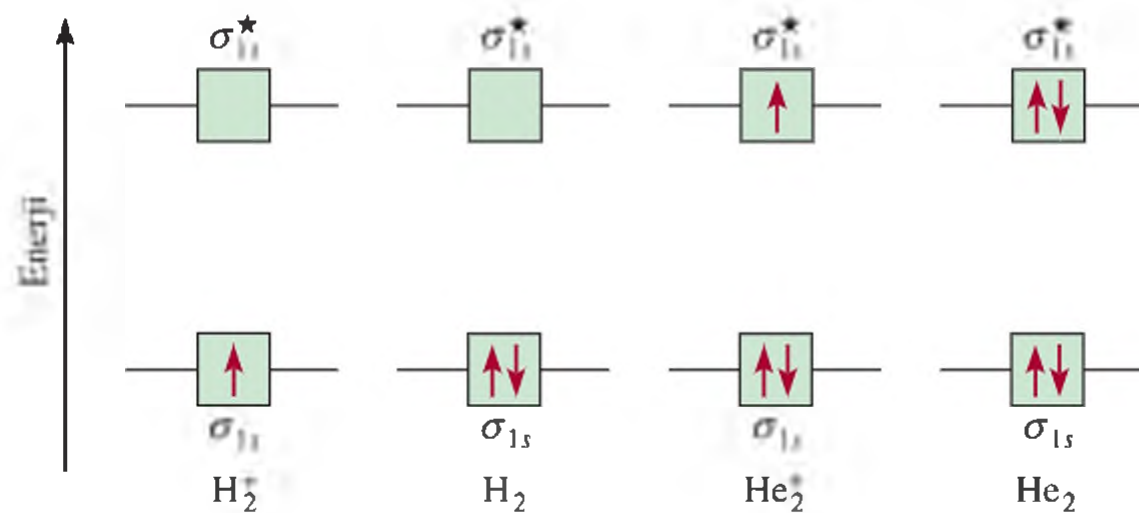
Bu kesimden sonra, ikinci periyot elementlerinin atomlarıyla oluşan molekülleri göreceğiz. Bundan önce, Şekil 10.25'de gösterilen enerji düzeyi dağılımlarını kullanarak, H_2^+ , H_2 , He_2^+ ve He_2 gibi basit türlerin kararlılıklarını öngörmek yararlı olacaktır. σ_{1s} ve σ_{1s}^* orbitalleri en çok dört elektron alabilir. Elektronların toplam sayısı H_2 için bir, He_2 için dört olmak üzere H_2^+ den He_2^+ 'ye doğru artacaktır. Pauli dışlama ilkesine göre her molekül orbitali zıt spinli iki elektron alabilir. Bu durumda sadece temel hal elektron dağılımlarını gözönüne alacağız.

Bu türlerin kararlılıklarını değerlendirmek için *bağ derecesini* belirleriz:

$$\text{bağ derecesi} = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{bağlayıcı MO'lerdeki elektron sayısı}}{\text{karşıt bağlayıcı MO'lerdeki elektron sayısı}} \right) \quad (10.2)$$

Bağ derecesi bir bağın kuvvetini gösterir. Örneğin, bağlayıcı molekül orbitalinde iki elektron varsa ve karşıt bağlayıcı molekül orbitalinde hiç elektron yoksa bağ derecesi birdir. Bu durum bir kovalent bağ oluştuğunu ve molekülün kararlı olduğunu gösterir. Bağ derecesinin kesirli olabileceğine dikkat ediniz. Bağ derecesinin sıfır olması (ya da negatifi bir değer) bağın kararlı olmadığı ve molekülün gerçekte var olamayacağı anlamını taşır. Bağ derecesi, sadece nitel olarak ve karşılaştırma amacıyla kullanılabilir. Örneğin, iki elektronlu bağlayıcı bir sigma molekül orbitali ve iki elektronlu bağlayıcı bir pi molekül orbitalinin her ikisinde de bağ derecesi birdir. Oysa, atom orbitallerinin örtüşme derecelerinin farklı oluşlarından dolayı bu iki bağın bağ kuvvetleri (ve bağ uzunlukları) farklı olmalıdır.

Bağ kuvvetinin nicel ölçüsü bağ entalpisidir (Bak. Kesim 9.10)



Şekil 10.25 H_2^+ , H_2 , He_2^+ ve He_2 de bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinin enerji düzeyleri. Bu türlerin hepsinde molekül orbitalleri iki 1s orbitalinin örtüşmesiyle oluşur.

$(\sigma_{1s})^1$ deki üst indis, sigma bağı molekül orbitalinde bir elektron bulunduğunu gösterir.

O halde H_2^+ , H_2 , He_2^+ ve He_2 'nin kararlılıkları hakkında öngörde bulunabiliriz (Şekil 10.25'e bakınız.). H_2^+ iyonu σ_{1s} orbitalinde sadece bir elektronu vardır. Bir kovalent bağ için bağlayıcı molekül orbitalinde iki elektron bulunması gerektiğinden H_2^+ iyonu sadece bir bağı yarısına sahiptir ya da bağ derecesi $\frac{1}{2}$ 'dir. Bundan dolayı H_2^+ molekülünün biraz kararlı bir tür olabileceğini öngörebiliriz. H_2^+ nin elektron dağılımı $(\sigma_{1s})^1$ şeklinde yazılır.

H_2 molekülünün, ikisi de σ_{1s} orbitalinde olmak üzere iki elektronu vardır. Şemamıza göre iki elektron bir bağa eşittir, bu yüzden H_2 molekülünün bağ derecesi birdir ya da bir tam kovalent bağı vardır. H_2 'nin elektron dağılımı $(\sigma_{1s})^2$ dir.

He_2^+ molekül iyonunda, ilk iki elektronu σ_{1s} orbitaline, üçüncü elektronu ise (σ_{1s}^*) orbitaline yerleştiririz. Karşıt bağlayıcı molekül orbitali kararsızlaştırıcı olduğundan, He_2^+ nin H_2 'den daha az kararlı olmasını bekleriz. Kabaca söylersek, σ_{1s}^* orbitalindeki elektrondan oluşan kararsızlık σ_{1s} orbitalindeki elektronlardan biriyle dengelenir. Bağ derecesi $\frac{1}{2}(2 - 1) = \frac{1}{2}$ 'dir, He_2^+ için toplam kararlılık H_2 molekülüne benzer. He_2^+ nin elektron dağılımı $(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^1$ dir.

He_2 'de σ_{1s} orbitalinde iki elektron, (σ_{1s}^*) orbitalinde iki elektron vardır, bu yüzden molekülün bağ derecesi sıfırdır ve net bir kararlılığı yoktur. He_2 'nin elektron dağılımı $(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2$ dir.

Özetle, bu dört türü azalan kararlılıklarına göre sıralarsak:



Hidrojen molekülünün kararlı bir tür olduğunu biliyoruz. Ancak molekül orbital yöntemiyle basitçe, H_2^+ ve He_2^+ türlerinin de azda olsa kararlılığa sahip olduğunu öngörebiliriz. Çünkü her ikisi için de bağ derecesi $\frac{1}{2}$ 'dir. Gerçekten de bu türlerin varlığı deneylerle kanıtlanmıştır. H_2^+ , He_2^+ dan biraz daha karalıdır. Çünkü hidrojen molekül iyonunda sadece bir elektron olduğu için elektron-elektron itmeleri yoktur. Dahası, H_2 da çekirdekler arası itmeler He_2 dan daha azdır. He_2 hakkındaki öngörümüz, kararlı olmayacağı şeklinde idi. Ancak, 1993'de He_2 gazının varlığı saptanmıştır. Ancak, "Molekül" son derece kararsızdır ve sadece özel koşullarda geçici olarak var olabilmektedir.

Kavramların Değerlendirilmesi

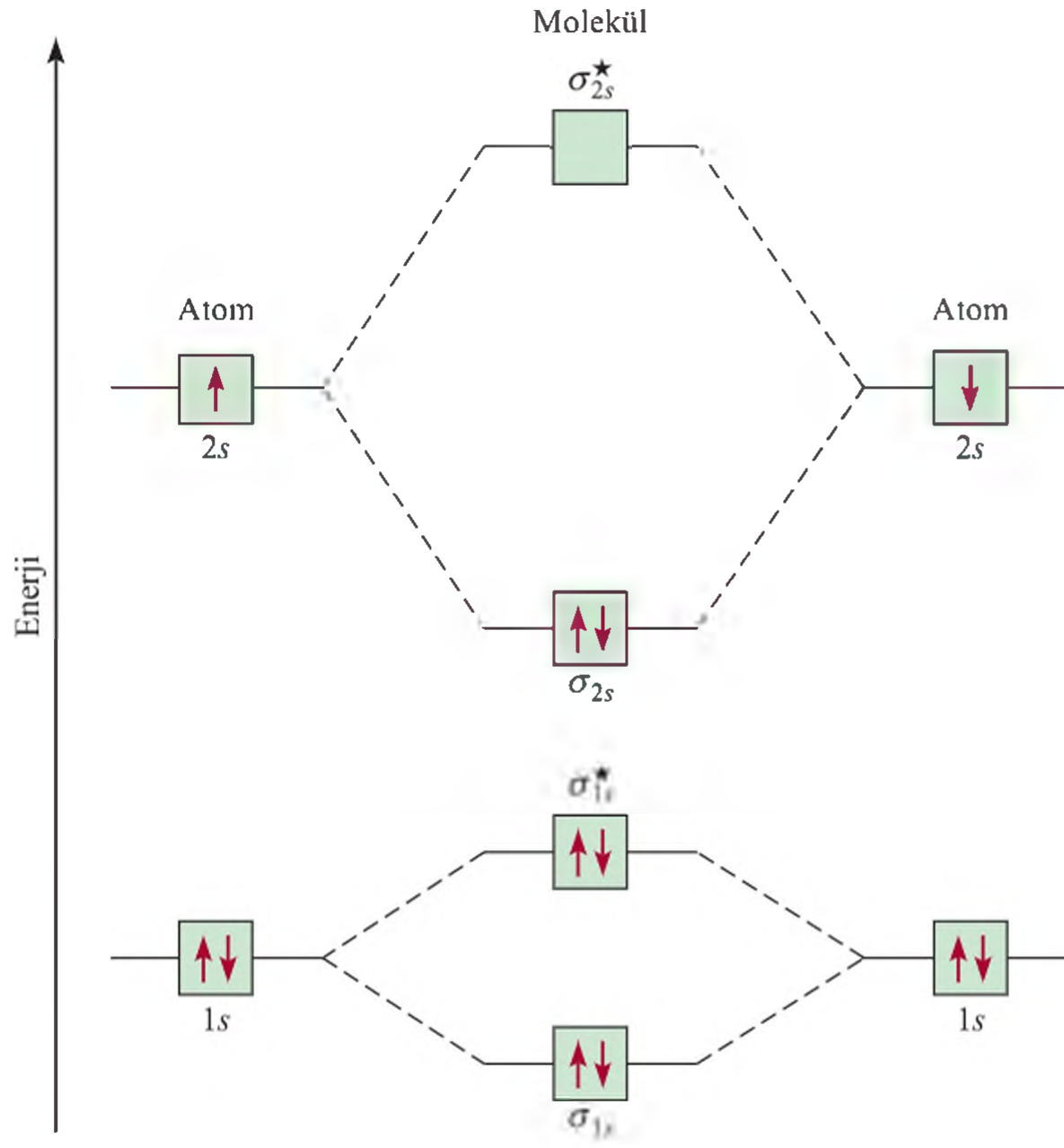
H_2^+ iyonunun bağ entalpisini (kJ/mol) tahmin ediniz.

İkinci Periyot Elementlerinin Eşçirdekli İki Atomlu Molekülleri

Şimdi ikinci periyot elementlerini içeren moleküllerin temel hal elektron dağılımlarını inceleyelim. Bu kısımda sadece en basit olanlarını, yani *eşçirdekli iki atomlu molekülleri* ya da *aynı elementin atomlarını içeren iki atomlu molekülleri* ele alacağız.

Şekil 10.26, ikinci periyotun ilk üyesi olan Li_2 için molekül orbital enerji seviyesi dağılımını göstermektedir. Bu molekül orbitaller $1s$ ve $2s$ orbitallerinin örtüşmesiyle oluşur. İki atomlu moleküllerin hepsi için bu diyagramı kullanacağız.

Bağ oluşumu p orbitallerini de içerdiğinde durum daha karmaşıktır. İki p orbitali bir sigma bağı ya da bir pi bağı oluşturabilir. İkinci periyot elementlerinin atomlarında üç p orbitali bulunduğundan, yapıcı etkileşimden bir sigma ve iki pi bağı oluşacağını biliyoruz. Sigma molekül orbitali, çekirdeklerarası eksen, yani x eksen boyunca $2p_x$ orbitallerinin örtüşmesiyle oluşur. $2p_y$ ve $2p_z$ orbitalleri x -eksenine dik olup pi molekül orbitallerini vermek üzere yandan örtüşeceklerdir. Molekül orbitalleri



Şekil 10.26 Li_2 molekülünün molekül orbital enerji seviyesi diyagramı. Li_2 'de altı elektron (Li 'un elektron dağılımı: $1s^2 2s^1$ dur) σ_{1s} , σ_{1s}^* ve σ_{2s} orbitallerindedir. σ_{1s} ve σ_{1s}^* 'in herbirinde (He_2 deki gibi) iki elektron bulunduğundan, net bir bağlayıcı ya da karşıt bağlayıcı etki oluşmaz. Bu yüzden, Li_2 'deki tek kovalent bağ σ_{2s} bağlayıcı molekül orbitalindeki iki elektronla oluşur. σ_{1s}^* karşıt bağlayıcı orbitali daha yüksek enerjili ve bağlayıcı (σ_{1s}) orbitalden daha az kararlı olmasına karşın, bu karşıt bağlayıcı orbitalin σ_{2s} bağlayıcı orbitalinden daha düşük enerjili ve daha kararlı olduğuna dikkat ediniz.

σ_{2p_x} , π_{2p_y} ve π_{2p_z} orbitalleri olarak adlandırılır. Burada altta yazılanlar molekül orbitallerinin oluşumunda yer alan atom orbitallerini gösterir. Şekil 10.24'de görüldüğü gibi, σ molekül orbitalinde iki p orbitalinin örtüşmesi, π molekül orbitalinden normal olarak daha büyüktür. Bu yüzden σ 'nın π molekül orbitalinden daha düşük enerjili olmasını bekleriz. Ancak, molekül orbitallerinin enerjileri gerçekte aşağıdaki gibi artar:

$$\sigma_{1s} < \sigma_{1s}^* < \sigma_{2s} < \sigma_{2s}^* < \pi_{2p_y} = \pi_{2p_z} < \sigma_{2p_x} < \pi_{2p_y}^* = \pi_{2p_z}^* < \sigma_{2p_x}^*$$

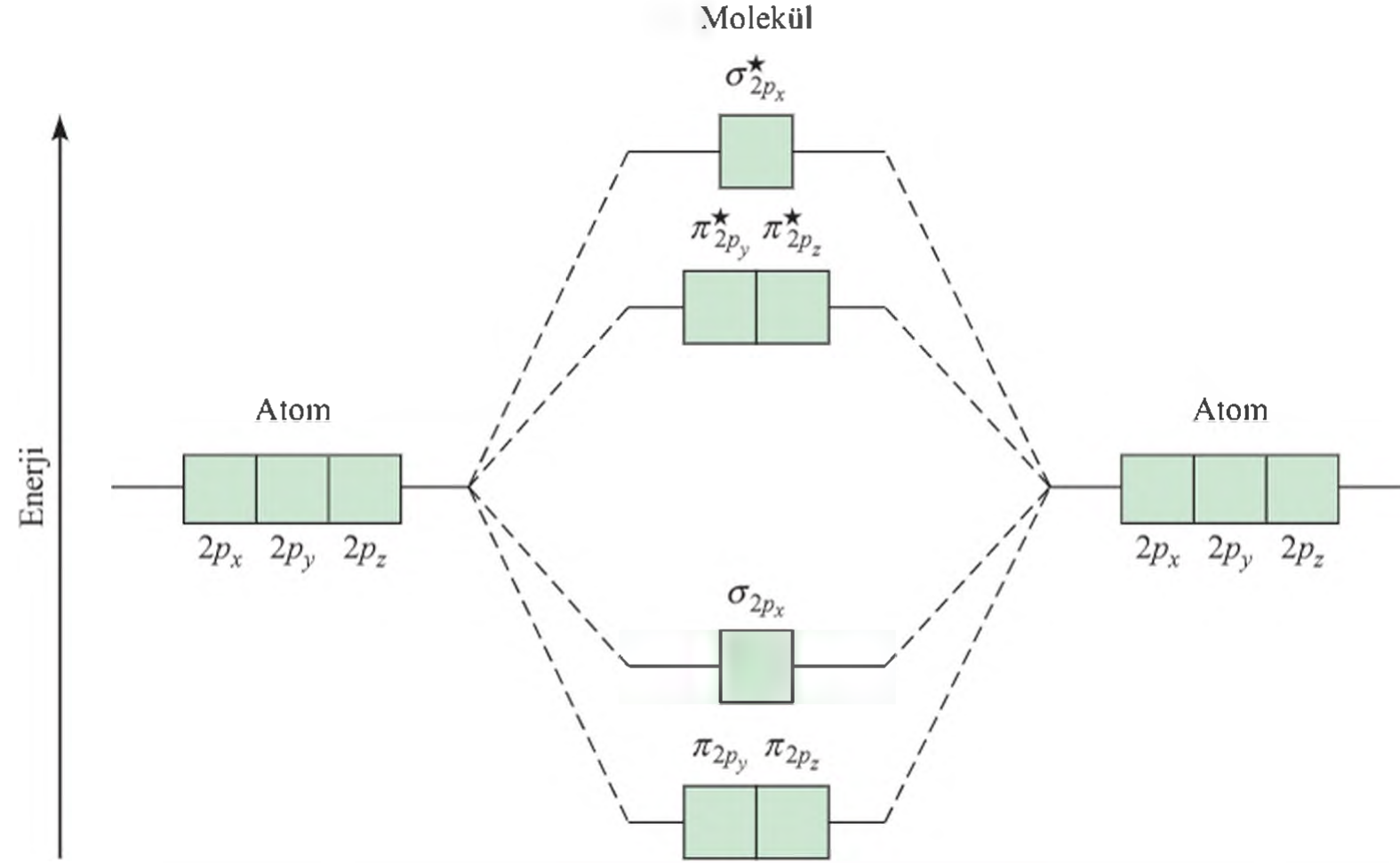
σ_{2p_x} ile π_{2p_y} ve π_{2p_z} orbitallerinin enerji düzeylerinin değişmesi, bir atom üzerindeki $2s$ orbitali ile diğeri üzerindeki $2p$ orbitalinin etkileşmesine bağlıdır. MO terminolojisinde, bu orbitaller arasında karışma olduğunu söyleyebiliriz. Karışmanın olabilmesi için $2s$ ve $2p$ orbitallerinin enerjilerinin yakın olması gerekir. Bu durum, B_2 , C_2 ve N_2 gibi nispeten molekül kütleleri düşük olanlarda görülür ve böyle moleküllerde σ_{2p_x} orbitali enerjisi π_{2p_y} ve π_{2p_z} orbitallerinin enerjilerine göre daha yüksektir. Karışma O_2 ve F_2 moleküllerinde daha az olduğundan bu moleküllerde σ_{2p_x} orbitalinin enerjisi π_{2p_y} ve π_{2p_z} den daha azdır.

Bu kavram ve $2p$ orbitallerinin artan enerji sıralamasını gösteren Şekil 10.27'den yararlanarak, ikinci periyotta bulunan elementlerin eşçekirdekli iki atomlu moleküllerine ait elektron dağılımlarını yazabiliriz. Ayrıca, manyetik özellikleri ve bağ derecelerini de öngörebiliriz. Şimdi birkaç örnek göreceğiz.

Lityum Molekülü (Li_2)

Lityum atomunun elektron dağılımı $1s^2 2s^1$ olup Li_2 molekülünde toplam altı elektron vardır. Şekil 10.26'ya göre, bu elektronlar σ_{1s} , σ_{1s}^* ve σ_{2s} molekül orbitallerinde (herbirinde iki) yer alırlar. σ_{1s} ve σ_{1s}^* orbitallerinde yer alan elektronlar Li_2 molekülünün bağlanmasına net bir katkı sağlamazlar. Buna göre, Li_2 'deki molekül orbitallerinin

Şekil 10.27 İkinci periyotun eşçekerdeki iki atomlu molekülleri olan Li_2 , Be_2 , B_2 , C_2 ve N_2 için genel molekül orbital enerji seviyesi diyagramı. Basitleştirmek için, σ_{1s} ve σ_{2s} orbitalleri gösterilmemiştir. Bu moleküllerde, σ_{2p_x} enerjisinin π_{2p_y} ya da π_{2p_z} orbitallerinden daha yüksek olduğuna dikkat ediniz. Metin içinde belirtildiği gibi, bir atom üzerindeki 2s orbitalinin diğer atom üzerindeki 2p orbitali ile karışması σ_{2p_x} orbitalinin enerjisinin yükselmesine neden olur. Bu, σ_{2p_x} orbitallerindeki elektronların π_{2p_y} ve π_{2p_z} dekilerden daha az kararlı olduğu anlamına gelir. O_2 ve F_2 için, σ_{2p_x} orbitali, π_{2p_y} ve π_{2p_z} den daha düşük enerjilidir.



elektron dağılımı $(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2(\sigma_{2s})^2$ dir. Bağlayıcı molekül orbitallerinde, karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinden iki elektron daha fazla olduğundan bağ derecesi 1'dir. [Eşitlik (10.2)'ye bakınız]. Bundan Li_2 molekülünün kararlı olduğu ve eşleşmemiş elektronu bulunmadığı için diamagnetik olması gerektiği sonucuna varırız. Gerçekten de diamagnetik Li_2 moleküllerinin buhar fazında varlığı bilinmektedir.

Karbon Molekülü (C_2)

Karbon atomunun elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^2$ olduğundan, C_2 molekülünde 12 elektron vardır. Li_2 'nin bağlama şemasına göre, karbonun ilave dört elektronunu π_{2p_y} ve π_{2p_z} orbitallerine yerleştiririz. Böylece, C_2 'nin elektron dağılımı şöyle olur:

$$(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\pi_{2p_y})^2(\pi_{2p_z})^2$$

Bağ derecesi 2'dir ve molekülün eşleşmemiş elektronu yoktur. Aynı şekilde C_2 molekülünün varlığına da gaz fazında rastlanmıştır. C_2 'deki çift bağların her ikisinin de pi bağı olduğuna dikkat ediniz. Çünkü dört elektron, iki pi molekül orbitalinde bulunur. Moleküllerin çoğunda bir çift bağ; bir sigma ve bir pi bağından oluşur.

Oksijen Molekülü (O_2)

O atomunun temel hal elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^4$ olduğundan, O_2 'de toplam 16 elektron vardır. Yukarıda incelenen, molekül orbitallerinin artan enerji sırlamasını kullanarak O_2 'nin temel hal elektron dağılımını şöyle yazarız:

$$(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\sigma_{2p_x})^2(\pi_{2p_y})^2(\pi_{2p_z})^2(\pi_{2p_y}^*)^1(\pi_{2p_z}^*)^1$$

Hund kuralına göre son iki elektron paralel spinle $\pi_{2p_y}^*$ ve $\pi_{2p_z}^*$ orbitallerine girer. σ_{1s} ve σ_{2s} orbitallerini ihmal ederek (çünkü bunların bağ oluşumu üzerine net etkileri sıfırdır), Eşitlik (10.2)'den O_2 'nin bağ derecesini şöyle hesaplayabiliriz.

$$\text{Bağ derecesi} = \frac{1}{2}(6 - 2) = 2$$

Böylece, O_2 'nin bağ derecesi 2'dir. Oksijen, deneysel gözlemlere uygun şekilde paramanyetiktir.

Çizelge 10.5 İkinci Periyot Elementlerinin Eşçekerdekli İki Atomlu Moleküllerinin Özellikleri*

	Li ₂	B ₂	C ₂	N ₂	O ₂	F ₂	
σ_{2p}^*							σ_{2p}^*
$\pi_{2p_y}^*, \pi_{2p_z}^*$							$\pi_{2p_y}^*, \pi_{2p_z}^*$
σ_{2p_x}							π_{2p_y}, π_{2p_z}
π_{2p_y}, π_{2p_z}							σ_{2p_x}
σ_{2s}^*							σ_{2s}^*
σ_{2s}							σ_{2s}
Bağ derecesi	1	1	2	3	2	1	
Bağ uzunluğu(pm)	267	159	131	110	121	142	
Bağ enerjisi (kJ/mol)	104,6	288,7	627,6	941,4	498,7	156,9	
Manyetik özellikleri	Diyamanyetik Paramanyetik Diyamanyetik Diyamanyetik				Paramanyetik Diyamanyetik		

Basitleştirmek amacıyla, σ_{1s} ve σ_{1s}^ orbitalleri ihmal edilmiştir. Bu iki orbital dört elektron içerir. O₂ ve F₂'de, σ_{2s} orbitalinin π_{2p_y} ve π_{2p_z} orbitallerinden daha düşük enerjili olduğunu anımsayınız.

Çizelge 10.5'de ikinci periyodun kararlı iki atomlu moleküllerinin genel özellikleri özetlemektedir.

MO kuramı yardımıyla iyonların molekül özelliklerinin nasıl öngörülebileceği Örnek 10.6'da gösterilmektedir.

Örnek 10.6

N₂⁺ iyonu, N₂'nin hızlandırılmış elektronlarla bombardımanından elde edilebilir. N₂⁺ iyonunun aşağıdaki özelliklerini belirleyiniz: (a) elektron dağılımı, (b) bağ derecesi, (c) manyetik özelliği, (d) N₂'nin bağ uzunluğuna göre N₂⁺ iyonunun bağ uzunluğu (daha kısa ya da uzun olduğunu).

İzlenecek Yol Çizelge 10.5'e bakarak eşçekerdekli moleküllerin iyonlarının özelliklerini anlayabiliriz. Bir molekülün kararlılığı, bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı molekül orbitallerindeki elektron sayısına nasıl bağlıdır? N₂ den N₂⁺ iyonu oluşurken elektron hangi molekül orbitalinden uzaklaşır? Paramanyetik ya da diyamanyetik tür olup olmadığı hangi özellikle belirlenir?

Çözüm Çizelge 10.5'den eşçekerdekli iki atomlu moleküllerden oluşan iyonların özelliklerini çıkarabiliriz.

(a) N₂⁺ molekülündeki elektron sayısı N₂'den bir eksik olduğundan, elektron dağılımı:

$$(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\pi_{2p_y})^2(\pi_{2p_z})^2(\sigma_{2p_x})^1$$

(b) N₂⁺ iyonunun bağ derecesi Eşitlik (10.2) kullanılarak bulunur:

$$\text{bağ derecesi} = \frac{1}{2}(9 - 4) = 2,5$$

(c) N₂⁺ iyonunun bir tane eşleşmemiş elektronu olduğu için paramanyetiktir.

(Devamı)

(d) Bağlayıcı molekül orbitalindeki elektronların görevi, atomları birarada tutmak olduğundan N_2^- daki bağ daha zayıftır. Bu yüzden N_2^- bağı N_2 'den daha uzundur. (N_2 'nin ölçülen bağ uzunluğu 110 pm iken N_2^- nin 112 pm dir.)

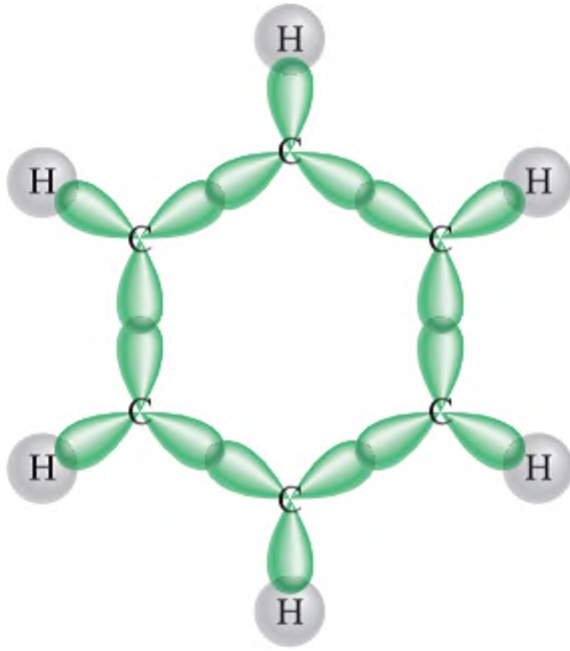
Kontrol Bağlayıcı molekül orbitalinden bir elektron uzaklaştığı için bağ derecesinin azalmasını bekleriz. N_2^+ iyonunun tek sayıda elektronu (13) olduğundan, paramanyetik olmalıdır.

Benzer problemler: 10.57, 10.58.

Alıştırma Aşağıdakilerden hangisinde bağ uzunluğu en fazladır? F_2 , F_2^+ ya da F_2^- ?

10.8 Delokalize Molekül Orbitaleri

Şimdiye kadar bağ oluşumunu sadece elektron çiftleri temelinde tartıştık. Ancak, Kesim 9.8'de tartıştığımız O_3 molekülünde olduğu gibi, bir molekülün özellikleri her zaman bir tek yapı ile açıklanamaz. Burada rezonans kavramı ile böyle bir çıkmazı aşacağız ve molekül orbital yaklaşımını ozon örneğindeki gibi uygulayarak problemi çözmeye çalışacağız. Kesim 9.8'de olduğu gibi örnek olarak benzen molekülünü ve karbonat iyonunu kullanacağız. Çok atomlu molekül ve iyonlarda bağlanmayı tartışırken, önce atomların melezleşme durumlarını belirleyerek (değerlik bağ yaklaşımı) daha sonra uygun molekül orbitalerinin oluşturulmasının uygun olacağına dikkat ediniz.



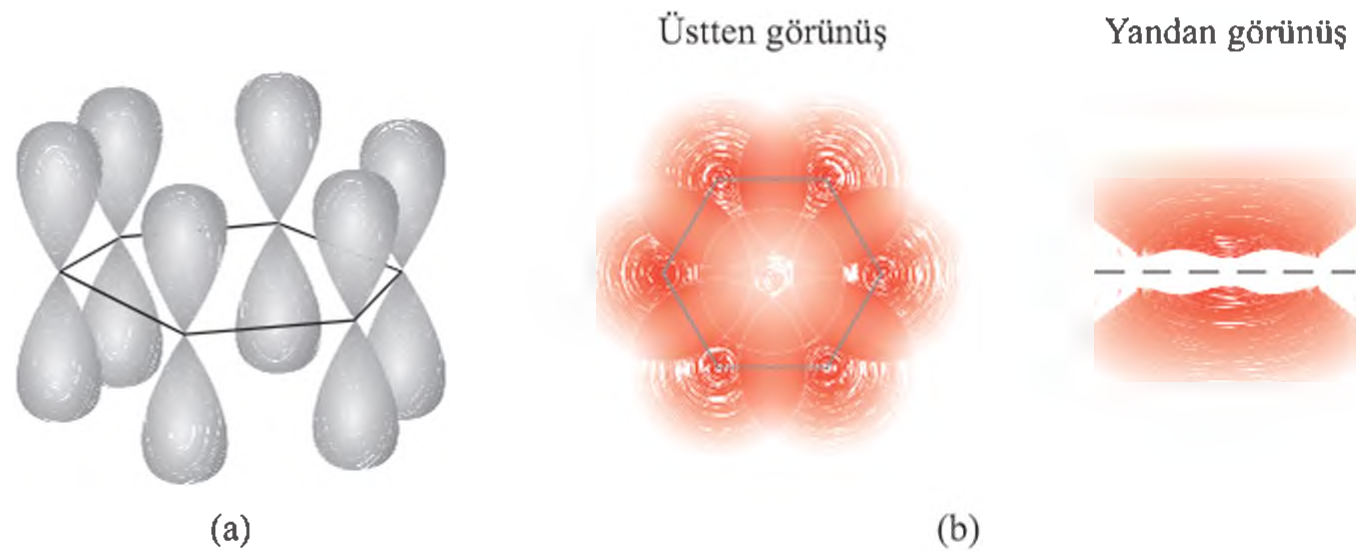
Şekil 10.28 Benzen molekülünde sigma bağı gösterimi. Her bir karbon atomu sp^2 melezleşmiştir ve komşu iki karbon atomuyla sigma bağları oluşturmuştur. Diğer sigma bağını ise, bir hidrojen ile yapmıştır.

Benzen Molekülü

Benzene (C_6H_6) altı köşesinde karbon atomlarının yer aldığı düzlemsel altıgen şeklinde bir moleküldür. Tüm karbon-karbon bağları, tüm karbon-hidrojen bağları gibi bağ uzunluğu ve bağ kuvveti açısından eşittir, CCC ve HCC açıları hepsi 120° dir. Bu yüzden her karbon atomu sp^2 melezleşmiştir. Bu melez orbitaler komşu iki karbon atomu ve bir hidrojenle üç sigma bağı oluşturur (Şekil 10.28). Bu düzenlenmeyle her karbon atomunda benzen molekülünün ya da genellikle söylendiği gibi *benzen halkası* dik olarak yönelmiş melezleşmeye katılmayan birer $2p_z$ orbitali kalır. Buraya kadar yapılan tanım, Kesim 10.5'de tartışılan etilen (C_2H_4) konfigürasyonuna benzer. Ancak burada melezleşmeye katılmayan altı $2p$ orbitali halkalı bir şekilde düzenlenmiştir.

Bu benzer biçim ve yönelimden dolayı her $2p_z$ orbitali komşu karbon atomlardaki diğer iki orbitalle de örtüşür. Sayfa 449'da verilen kurallara göre, altı $2p_z$ orbitalinin etkileşmesi, altı molekül orbitali oluşturur. Bunlardan üçü bağlayıcı, üçü de karşıt bağlayıcıdır. Temel haldeki benzen molekülünde, üç pi bağlayıcı molekül orbitalinde, her or-

Şekil 10.29 (a) Benzendeki karbon atomunda altı $2p_z$ orbitali. (b) $2p_z$ orbitalerinin örtüşmesiyle oluşan delokalize molekül orbitali. Delokalize molekül orbitali, pi simetriye sahiptir ve benzen halkası düzleminin altına ve üstüne uzanır. Gerçekten bu $2p_z$ orbitaleri, üç bağ orbitali ve üç karşıt bağ orbitali oluşturmak üzere altı farklı şekilde birleşebilir. Burada gösterilen en kararlı halidir.



bitalde eşleşmiş spinli iki elektron olmak üzere altı elektron vardır (Şekil 10.29).

Etilendeki π molekül orbitallerinin aksine benzendekiler **delokalize moleküler orbitaller** oluşturur. Bu orbitaller bağlanan iki komşu atom arasında sınırlı olmayıp gerçekte iki ya da daha çok atom üzerine yayılmıştır. Bu nedenle, bu orbitallerin herhangi birindeki elektronlar benzen halkası üzerinde serbestçe hareket ederler. Bu nedenle benzenin yapısı bazen aşağıdaki gibi gösterilir.



Burada halkanın içindeki daire, karbon atomları arasındaki π bağlarının iki atom arasında sınırlı olmadığını, π elektron yoğunluğunun benzen molekülünün her tarafına eşit olarak dağıldığını gösterir. Bu basitleştirilmiş formülde karbon ve hidrojen atomları gösterilmez.

Şimdi, biz benzende her karbon-karbon bağının bir sigma ve bir de “kısmi” π bağı içerdiğini söyleyebiliriz. Bu yüzden herhangi iki komşu karbon atomu arasındaki bağ derecesi 1 ile 2 arasındadır. Bundan dolayı, molekül orbital kuramı, değerlik bağ kuramı temelinde dayanan rezonans yaklaşımından farklı bir seçenek sunar (Benzenin rezonans yapıları sayfa 392’de verilmektedir).

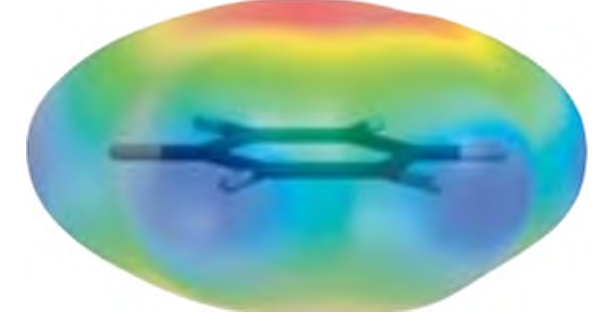
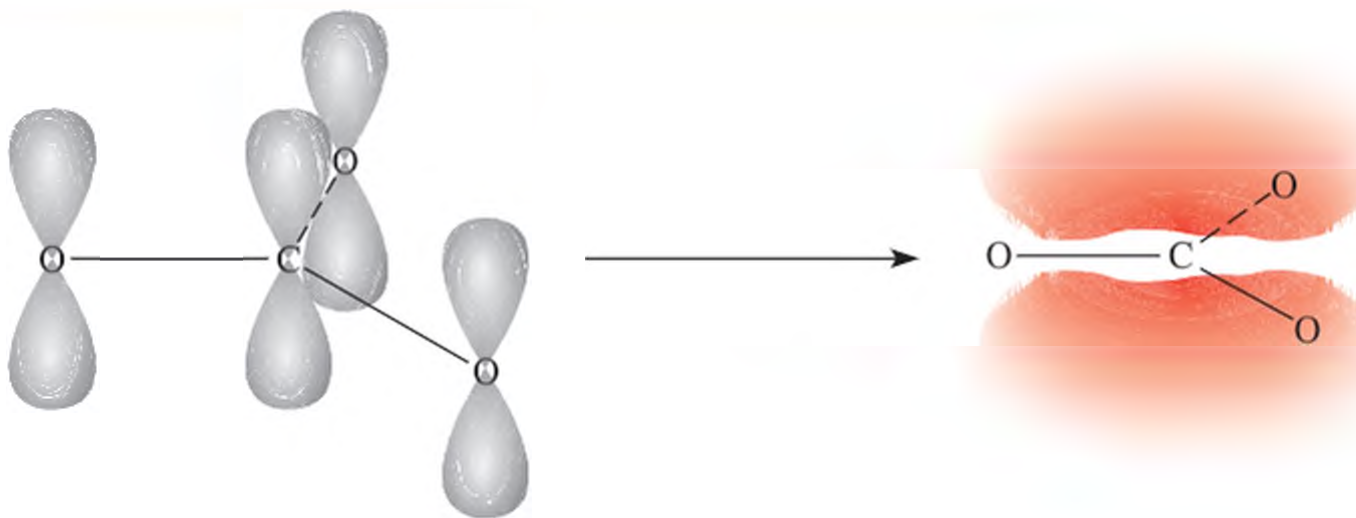
Karbonat İyonu

Delokalize molekül orbitalleri olan moleküller sadece benzen gibi halkalı bileşikler değildir. Karbonat iyonundaki (CO_3^-) bağlanmayı göz önüne alalım. Karbonat iyonu için VSEPR kuramı, BF_3 ’deki gibi üçgen düzlem geometrik yapıyı öngörür. Karbonat iyonunun düzlemsel yapısı, karbon atomunun sp^2 -melezleştiğini varsayarak açıklanabilir. Karbon atomu üç oksijen atomuyla sigma bağları oluştururken, C atomunun melezleşmemiş $2p_z$ orbitali aynı anda üç O atomunun $2p_z$ orbitalleriyle örtüşebilir. (Şekil 10.30). Sonuç, elektron yoğunluklarının dolayısıyla bağ derecelerinin tüm karbon-oksijen bağlarının hepsinde aynı olacak şekilde dört çekirdeğin hepsini kaplayan bir delokalize molekül orbitalidir. Bundan dolayı, sayfa 392’de gösterilen rezonans yapılarıyla karşılaştırıldığında, molekül orbital kuramı karbonat iyonunun özelliklerini açıklamada kabul edilebilir bir açıklama getirir.

Delokalize molekül orbitallere sahip olan moleküller, sadece iki atom üzerine yayılan molekül orbitalleri olan moleküllerden daha kararlıdır. Örneğin delokalize molekül orbitalleri olan benzen molekülü, etilen gibi lokalize bağlar içeren moleküllerden daha az reaktif, yani daha kararlıdır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Rezonans yapıları ve delokalize molekül orbitalleri temelinde, nitrat iyonundaki (NO_3^-) bağlanmayı açıklayınız.



Benzenin elektrostatik potansiyel haritası molekül düzleminin altında ve üstündeki elektron yoğunluğunu (kırmızı renkli) gösterir. Basitleştirmek için, sadece molekülün iskeleti gösterilmiştir.

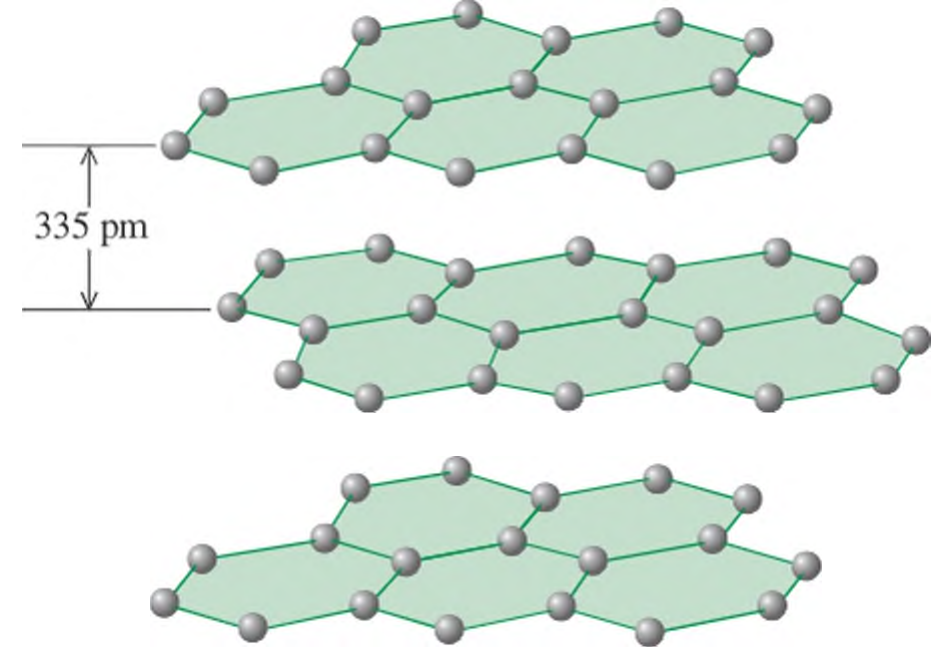
Şekil 10.30 Karbonat iyonunda bağlanma. Karbon atomu üç oksijen atomuyla üç sigma bağı oluşturur. Ek olarak, karbon ve oksijen atomlarının $2p_z$ orbitalleri, delokalize molekül orbitalleri oluşturmak üzere örtüşürler. Öyle ki, karbon atomu ile üç oksijen atomunun her biri arasında kısmi bir π bağı oluşur.

Bucky Topu: Fullerenler

Yıldızlararası uzayda varolduğuna inanılan olağanüstü molekülleri oluşturmak için, 1985 yılında Teksas Rice Üniversitesinden kimyacılar buhar fazındaki grafitte güçlü bir lazer uyguladılar. Kütle spektroskopisi ile yapılan incelemeler, elde edilen ürünlerden birinin C_{60} formülünde daha önce bilinmeyen bir tür olduğunu gösterdi. Büyüklüğü ve saf karbondan oluşmasından dolayı bu molekül farklı bir yapıya sahip olmalıydı. Araştırmacılar kağıt, makas ve yapışkan bant kullanarak olası molekül modelini öğrenmeye çalıştılar. Daha sonra yapılan spektroskopik ve X-ışını ölçümleri, C_{60} 'ın 60 köşenin her birinde bir karbonun bulunduğu ve içi boş bir küreye benzediğini doğrulamıştır. Bu şekil geometrik olarak futbol topuna benzeyen ve fullerene olarak adlandırılan, bilinen en simetrik moleküldür. Eşsiz özelliklerine karşın bağlanma şekli bir o kadar basittir. Her karbon sp^2 melezleşmiştir. Yapının tamamını kaplayan, geniş delokalize molekül orbitalleri vardır.

Fullerenin keşfi bilim dünyasında çok büyük bir ilgi uyandırmıştır. Bu şaşırtıcı bir geometriye sahip olan yapı, yeni bir karbon allotropunun keşfiydi. Bilinmeyen özelliklerinin araştırılması gerekiyordu. 1985'den bu yana, kimyacılar karbon sayısı 70 veya 76 olan, hatta daha fazla sayıda karbon atomu içeren fullerenerler sınıfını keşfettiler. Ayrıca, kimyacılar is ya da kurumun doğal bileşeninin fullerenerler olduğunu da bulmuşlardır.

Fullerenler (C_{60}) ve onun daha ağır üyeleri, molekül mimarisine yeni bir kavram getirmiştir. Örneğin, kafesinde bir hel-



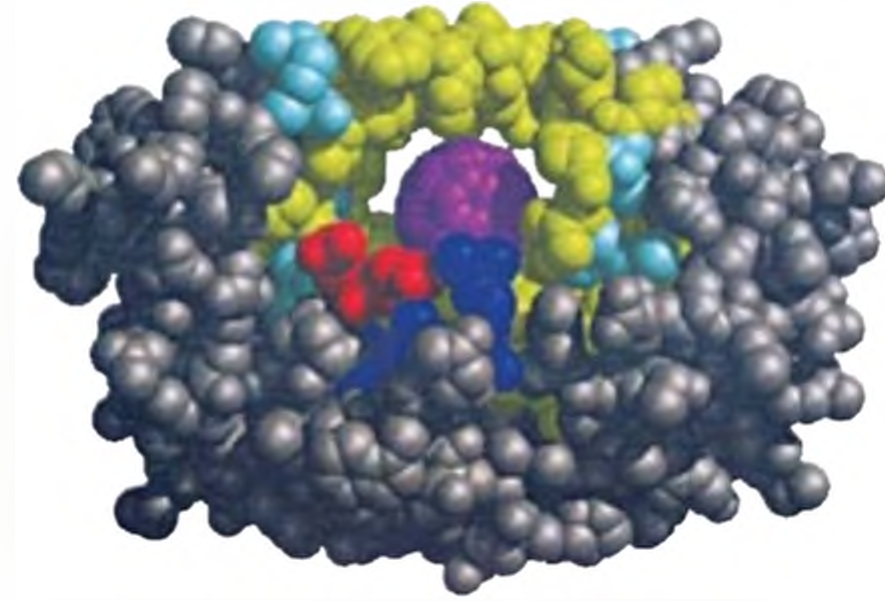
Grafit, altılı karbon halkalarından oluşan tabakalardan meydana gelmiştir.

yum atomu tuzaklanarak fullerene elde edilmiştir. Fullerene 18 K'de bir süperiletken olarak davranan K_3C_{60} 'ı vermek üzere potasyum ile tepkime verebilir. Fullerene, geçiş metallerini de bağlamak mümkündür. Bu türevler katalizör olarak umut vericidir. Eşsiz şekillerinden dolayı fullerene bir yağlayıcı olarak kullanılabilir.

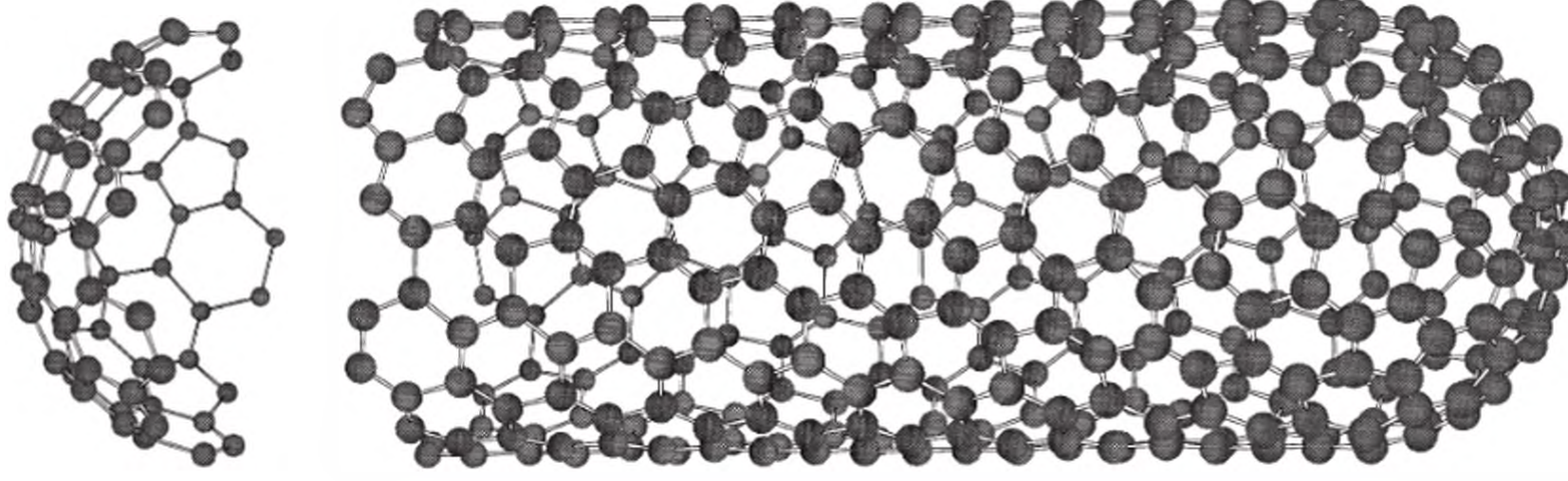
1991'de olağanüstü bir keşifle, Japon araştırmacılar tarafından futbol topuna benzer bu yapılar aydınlatıldı. Bu molekül-



Bir fullerenein C_{60} geometrisi futbol topuna benzemektedir(sağda). Bilim insanları bu yapıyı, birbirini kesen noktalara 60 karbon atomunu yerleştirmek üzere, kağıttan yeteri kadar altıgen ve beşgen kesip birleştirerek elde etmişlerdir.



HIV'in çoğalması için gerekli olan bir proteine bağlı olan HIV-proteaza, fullerene türevlerinin bağlanmasının bilgisayarda oluşturulmuş bir modeli. Fullerene(mor renkli) aktif konuma sıkıca yerleşmiş olup enzimin işlevini yerine getirmesini önlemektedir.

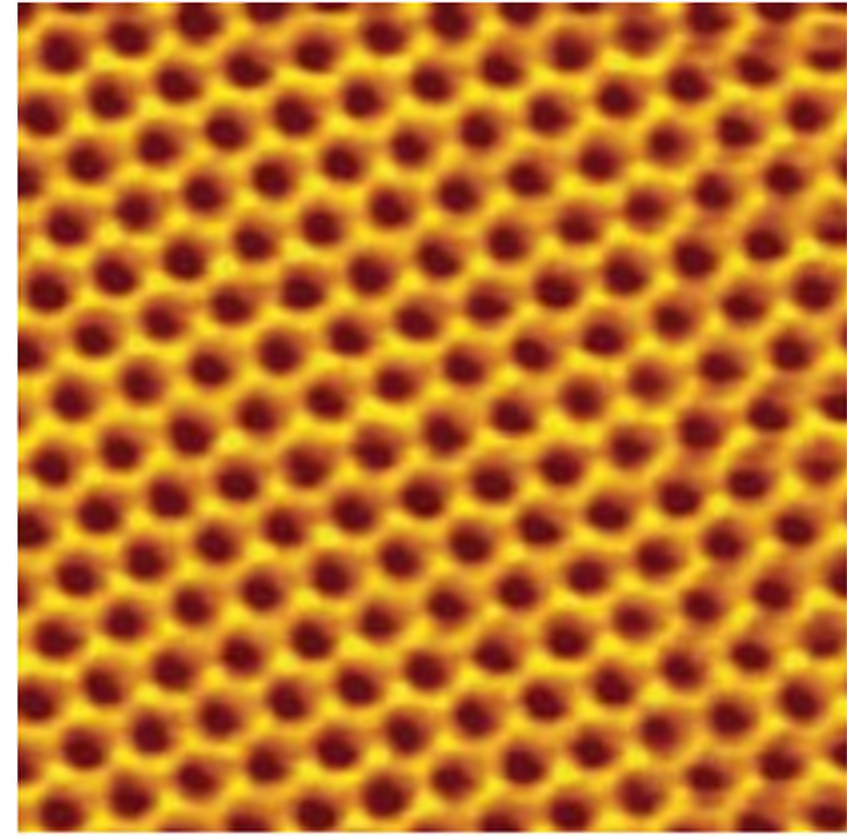


Tek tabaka karbon atomlarını içeren bir fullerene yapısı. Bu görünümde, fullerenin tepe bölümü kesilerek oluşan "kapak" kısmı fullerenlerden ayrılmıştır. Bu kısmın tüpün grafit benzeri silindirik kesitinden farklı bir yapı olduğuna dikkat ediniz. Kimyacılar kapak kısmını açarak tüpün içine başka molekülleri yerleştirmek için çeşitli yöntemler önermişlerdir.

ler. yüzlerce nanometre uzunluğunda tüp şeklindedirler. Çapı 15 nanometre civarında olan bir iç boşluğa sahiptirler. Birbirine eklenmiş fullerenler olarak düşünülebilen veya büyüklüğünden dolayı "nano tüp" adı verilen bu moleküller, iki farklı yapıya sahiptirler. Birincisi, her iki ucu kesilmiş bir fullerenle sınırlı, tek bir grafit tabakasıdır. Diğeri ise, her yerinde grafit benzeri 2-30 tabaka içeren ve rulo şeklindeki bir tüptür. Nanotüpler benzer boyuttaki çelik tellerden birkaç kat daha kuvvetlidir. Nanotüplerin birçok potansiyel uygulama alanları önerilmiştir. İletken ve yüksek sağlamlıkta materyaller, hidrojen depolama ortamı, moleküler sensörler, yarı iletken cihazlar ve moleküler problemler bunlardan bazılarıdır. Bu materyallerle ilgili çalışmalar, *nanoteknoloji* adı verilen yeni bir çalışma alanının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Nanoteknoloji denilmesinin sebebi, bilim insanlarının yararlı cihazları elde etmek için materyalleri moleküler ölçeğe kadar getirebilmeleridir.

Fullerenlerin ilk biyolojik uygulaması, 1993'de AIDS tedavisinde kullanılan ilaçların keşfinde, San Fransisko ve Santa Barbara'da Kaliforniya Üniversitesi kimyacıları tarafından gerçekleştirilmiştir. AIDS'e neden olan insan bağışıklık sistemi eksikliği virüsü(HIV), uzun protein zinciri oluşturarak çoğalmaktadır. Bu zincir HIV-proteaz enzimi ile daha küçük kesitlere bölünebilmektedir. AIDS'i durdurmanın bir yolu, enzimi etkisiz hale getirmek olabilir. Kimyacılar, fullerenin suda çözünen bir türevi ile HIV-proteaz enzimini tepkimeye soktuklarında ve fullerenin enzimin bir kısmına bağlandığını, çoğalan proteini bölerek HIV'in çoğalmasını engellediğini bulmuşlardır. Sonuç olarak, virüs bunda böyle laboratuvarında büyütülmüş insan hücrelerini enfekte edemeyecektir. Fullerenin kendisi, potansiyel yan etkiler ve uygulama zorluklarından dolayı AIDS'e karşı uygun bir ilaç değildir, ancak bu tip ilaçların geliştirilmesinde kullanılabilmektedir.

Bilim insanları 2004 yılında, bir grafit parçasından(kurşun kalemdeki gibi) yapışkan bir bant kullanarak(İskoç bandı gibi) sadece bir atom kalınlığında ince bir karbon tabakasını koparmayı başardılar. Grafen olarak adlandırılan bu yeni materyal, olağanüstü elektriksel ve optik özellikler gösteren, iki boyutlu bir kristaldir. Grafen mükemmel bir ısı iletimi sağlar ve neredeyse tamamen saydamdır. Grafende karbon atomları öylesine sıkı istiflenmiştir ki, sadece helyum atomları değil daha küçük atomların bile geçişine izin vermez. Ötümüzdeki yıllarda, bu olağanüstü madde ile ilgili birçok ilginç ve faydalı buluşlar ortaya çıkacak gibi görünüyor.



Grafenin bal peteğine benzer yapısını gösteren bir mikrograf.

Anahtar Eşitlikler

$$\mu = Q \times r \quad (10.1)$$

Yük(Q) ve yükler arasındaki uzaklığa (r) bağlı olarak dipol moment.

$$\text{Bağ derecesi} = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{bağlayıcı MO'lardaki elektron sayısı}}{\text{karşıbağlayıcı MO'lardaki elektron sayısı}} \right) \quad (10.2)$$

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Molekül geometrisini öngörmek için kullanılan VSEPR modeli, değerlik kabuğundaki elektron çiftlerinin birbirini itmesi ve olabildiğince birbirlerinden uzakta durma eğilimleri olduğu varsayımına dayanır.
2. VSEPR modeline göre, molekül geometrisi, bağlayıcı ve yalnız elektron çiftlerinin sayısına göre öngörülür. Bağlayıcı elektron çiftlerine göre yalnız elektron çiftleri birbirini daha kuvvetle iterler, bu nedenle bağ açıları ideal geometrilerine göre sapar.
3. Dipol moment, elektronegatiflikleri farklı olan atomları içeren moleküllerde yük ayrımının bir ölçüsüdür. Bir molekülün dipol moment, moleküldeki bağ momentlerinin toplamıdır. Dipol moment ölçümlerinden, molekül geometrisi hakkında bilgiler elde edilebilir.
4. Kovalent bağ oluşumu için iki kuantum mekaniksel açıklama vardır: Değerlik bağ kuramında, melezleşen atom orbitalleri aynı atom orbitallerinin birleşmesi ve yeniden düzenlenmesiyle oluşur. Melez orbitaller aynı enerji ve aynı elektron yoğunluğuna sahiptirler. Melezleşmiş orbitallerin sayısı, onları oluşturan saf atom orbitallerinin sayısına eşittir.
5. Değerlik kabuğu genişlemesi s , p ve d orbitallerinin melezleştiği varsayılarak açıklanabilir.
6. sp melezleşmesinde, iki melez orbital bir doğru düzende yer alır. sp^2 melezleşmesinde, üç melez orbital bir üçgenin köşelerine doğru yönelir. sp^3 melezleşmesinde, dört melez orbital bir dörtyüzlünün köşelerine doğru yönelir. sp^3d melezleşmesinde, beş melez orbital bir üçgen bipiramidin köşelerine doğru yönelir. sp^3d^2 melezleşmesinde altı melez orbital bir sekizyüzlünün köşelerine doğru yönelir.
7. sp^2 melezleşen bir atomda (örneğin, karbon), melezleşmemiş bir p orbitali başka bir p orbitali ile pi bağı oluşturabilir. Bir karbon-karbon ikili bağı bir sigma bağı ile bir pi bağından oluşur. sp melezleşmiş bir karbon atomunda, melezleşmemiş iki p orbitali başka atom ya da atomların iki p orbitali ile iki pi bağı oluşturabilir. Bir karbon-karbon üçlü bağı, bir sigma ve iki pi bağından oluşur.
8. Molekül orbital kuramı bağ oluşumunu, atom orbitallerinin moleküle ait orbitalleri oluşturmak üzere yeniden düzenlenmesi ve birleşmesi temelinde tanımlar.
9. Bağlayıcı molekül orbitalleri çekirdekler arasında elektron yoğunluğunu artırır ve atom orbitallerinden daha düşük enerjilidirler. Karşıt bağlayıcı molekül orbitalleri, çekirdekler arasında elektron yoğunluğunun sıfır olduğu bir bölgeye sahiptirler ve atom orbitallerinden daha yüksek enerjilidirler.
10. Molekül orbitalleri için elektron dağılımlarını, atom orbitallerinde yaptığımız gibi, elektronları artan enerji düzeylerine göre sırayla yazarız. Molekül orbital sayısı daima oluştukları atom orbitallerinin sayısına eşittir. Molekül orbitallerinin doldurulmasında Pauli dışlama ilkesi ve Hund kuralı geçerlidir.
11. Bağlayıcı molekül orbitallerdeki elektron sayısı, karşıt bağlayıcı molekül orbitallerden daha çok olan molekül-ler kararlıdır.
12. Elektronların molekül ya da atom gruplarının etrafında serbestçe dolaştığı delokalize molekül orbitalleri, komşu atomların p orbitallerindeki elektronlar tarafından oluşturulur. Moleküllerin özelliklerini açıklamada, delokalize molekül orbitalleri rezonans yapılarına bir seçenektir.

Anahtar Kelimeler

Bağ derecesi, s. 449
Bağlayıcı molekül orbitali, s. 446
Delokalize molekül orbital, s. 455
Değerlik kabuğu elektron çifti itmesi (VSEPR) modeli, s. 415

Değerlik kabuğu, s. 415
Dipol moment (μ), s. 425
Eşçekirdekli iki atomlu molekül, s. 450
Karşıt bağlayıcı molekül orbitali, s. 446
Melez orbital, s. 433

Melezleşme, s. 434
Molekül orbitali, s. 445
Pi bağı (π bağı), s. 442
Pi molekül orbitali, s. 447
Polar molekül, s. 426
Polar olmayan molekül, s. 426

Sigma bağı (σ bağı), s. 442
Sigma molekül orbitali, s. 446

Sorular ve Problemler

Molekül Geometrisi

Tarama Soruları

- 10.1 Bir molekülün geometrisi nasıl tanımlanır ve molekül geometrisinin bilinmesi neden önemlidir?
- 10.2 Verilen şu molekülün şekillerini çiziniz: Doğrusal üç atomlu bir molekül, dört atom içeren bir düzlem üçgen molekül, dörtyüzlü bir molekül, bir üçgen bipiramit molekül, sekizyüzlü bir molekül. Her birinin bağ açılarını belirtiniz.
- 10.3 Dörtyüzlü, üçgen bipiramit ve sekizyüzlü molekül-lerde doğrudan merkez atoma bağlı kaç atom vardır?
- 10.4 VSEPR modelinin temel özelliklerini tartışınız. İtmenin niçin aşağıdaki şu sıraya göre olduğunu açıklayınız: yalnız elektron çifti-yalnız elektron çifti > yalnız elektron çifti-bağlayıcı elektron çifti > bağlayıcı elektron çifti-bağlayıcı elektron çifti.
- 10.5 Üçgen bipiramit düzenlenmede, yalnız bir elektron çifti niçin aksiyal konumdan çok ekvatoryal konuma yerleşir?
- 10.6 CH_4 'ün geometrisi, karenin merkezinde C atomu ve karenin köşelerinde dört H atomu olacak şekilde, kare düzlem olabilir. Bu geometriyi çizerek, bunun kararlılığını dörtyüzlü CH_4 molekülünün kararlılığı ile karşılaştırmamız.

Problemler

- 10.7 Aşağıdaki türlerin geometrilerini VSEPR yöntemini kullanarak belirleyiniz: (a) PCl_3 , (b) CHCl_3 , (c) SiH_4 , (d) TeCl_4 .
- 10.8 Aşağıdaki türlerin geometrilerini belirleyiniz: (a) AlCl_3 , (b) ZnCl_2 , (c) ZnCl_4^{2-} .
- 10.9 Aşağıdaki molekül ve iyonların geometrilerini VSEPR yöntemini kullanarak belirleyiniz: (a) CBr_4 , (b) BCl_3 , (c) NF_3 , (d) H_2Se , (e) NO_2^- .
- 10.10 Aşağıdaki molekül ve iyonların geometrilerini VSEPR yöntemini kullanarak belirleyiniz: (a) CH_3I , (b) ClF_3 , (c) H_2S , (d) SO_3 , (e) SO_4^{2-} .
- 10.11 Aşağıdaki moleküllerin geometrilerini VSEPR yöntemini kullanarak belirleyiniz: (a) HgBr_2 , (b) N_2O (atomların dizilişi, NNO), (c) SCN^- (atomların dizilişi SCN).
- 10.12 Aşağıdaki iyonların geometrilerini belirleyiniz: (a) NH_4^+ , (b) NH_2^- , (c) CO_3^{2-} , (d) ICl_2^- , (e) ICl_4^- , (f) AlH_4^- , (g) SnCl_5^- , (h) H_3O^+ , (i) BeF_4^{2-} .
- 10.13 CH_3COOH molekülde üç merkez atomunun herbirinin etrafındaki geometriyi belirleyiniz.
- 10.14 Aşağıdaki türlerin hangileri dörtyüzlüdür? SiCl_4 , SeF_4 , XeF_4 , Cl_4 , CdCl_4^{2-} .

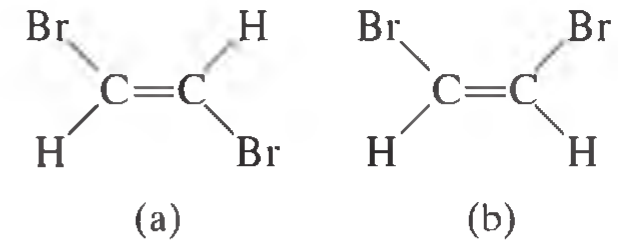
Dipol Momentler

Tarama Soruları

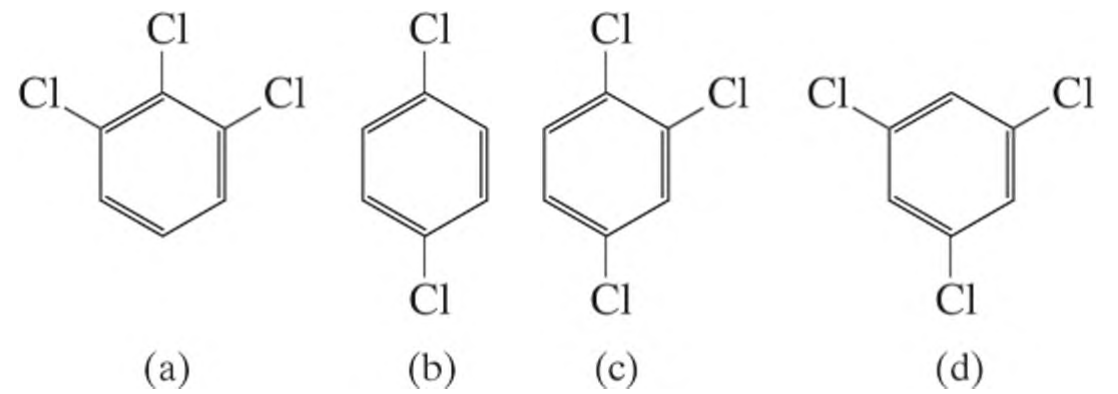
- 10.15 Dipol momentini tanımlayınız. Dipol momentin birimi ve simgesi nedir?
- 10.16 Dipol moment ile bağ momenti arasındaki ilişki nedir? Bağ momenti olmasına rağmen, bir molekülün polar olmaması nasıl mümkün olabilir?
- 10.17 Bir atomun neden kalıcı dipolu olamayacağını açıklayınız.
- 10.18 Berilyum hidrür (BeH_2) molekülündeki bağlar polardır, ancak molekülün dipol momenti momentisi sıfırdır. Açıklayınız.

Problemler

- 10.19 Verilen şu molekülleri Çizelge 10.3'den yararlanarak, artan dipol momentlerine göre sıralayınız: H_2O , H_2S , H_2Te , H_2Se .
- 10.20 Hidrojen halojenürlerin dipol momentleri HF 'den HI 'ye doğru azalır (Çizelge 10.3'e bakınız.). Bu eğilimi açıklayınız.
- 10.21 Aşağıdaki molekülleri dipol momentlerinin artışına göre sıralayınız: H_2O , CBr_4 , H_2S , HF , NH_3 , CO_2 .
- 10.22 OCS molekülünün dipol momentisi CS_2 'den büyük mü yoksa küçük müdür?
- 10.23 Aşağıdaki moleküllerden hangisinin dipol momentisi daha yüksektir?



- 10.24 Aşağıdaki bileşikler dipol momentlerinin artışına göre sıralayınız:



Değerlik Bağ Kuramı

Tarama Soruları

- 10.25 Değerlik bağ kuramı nedir? Kimyasal bağ tanımlamada Lewis kavramından farkı nedir?

- 10.26 Cl_2 ve HCl 'de bağ oluşumunu değerlik bağ kuramını kullanarak açıklayınız. Bir bağ oluştuğunda atom orbitallerinin nasıl örtüştüğünü gösteriniz.
- 10.27 F_2 'nin bağ oluşumu için bir potansiyel enerji grafiği çizin.

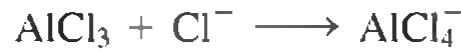
Melezleşme

Tarama Soruları

- 10.28 (a) Atom orbitallerinin melezleşmesi nedir? İzole bir atomun melezleşmesi için olanaksızdır? (b) Melez orbitalin atom orbitalinden farkı nedir? Bir atomun iki $2p$ orbitali iki melez orbital vermek üzere melezleşebilir mi?
- 10.29 Aynı atom üzerinde bulunan şu melez orbitaller arasındaki açı nedir? (a) sp ve sp melez orbitalleri, (b) sp^2 ve sp^2 melez orbitalleri, (c) sp^1 ve sp^3 melez orbitalleri.
- 10.30 Sigma bağı ile pi bağı arasındaki farkı nasıl açıklıyoruz?

Problemler

- 10.31 Melezleşmeyi esas alarak AsH_3 molekülünün bağlanmasını gösteriniz.
- 10.32 SiH_4 'de ve $\text{H}_3\text{Si}-\text{SiH}_3$ 'de Si'un melezleşmesi nedir?
- 10.33 Aşağıdaki tepkimede Al atomunun melezleşmesindeki değişmeyi (eğer varsa) açıklayınız:



- 10.34 Aşağıdaki tepkimede,

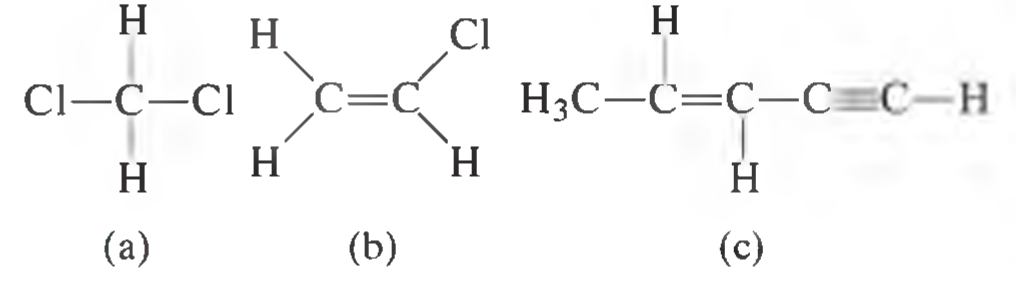


B ve N atomlarının melezleşmelerindeki değişmeyi (eğer varsa) açıklayınız.

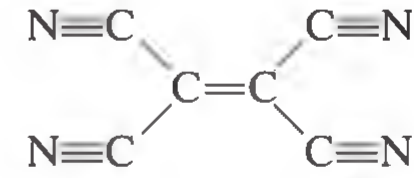
- 10.35 Verilen şu türlerde azot atomlarınca kullanılan melez orbitaller nedir? (a) NH_3 , (b) $\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$, (c) NO_3^-
- 10.36 Aşağıdaki moleküllerde karbon atomlarının melez orbitalleri nedir?
- (a) $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$
 (b) $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$
 (c) $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$
 (d) $\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$
 (e) CH_3COOH
- 10.37 Verilen şu türlerde karbon atomlarının hangi melez orbitalleri kullandığını belirtiniz: (a) CO , (b) CO_2 , (c) CN^- .
- 10.38 Azür iyonunda(N_3) merkez N atomunun melezleşmesi nedir? (Atomların dizilişi: NNN .)
- 10.39 Allen molekülü $\text{H}_2\text{C}=\text{C}=\text{CH}_2$ doğrusaldır (üç C atomu bir doğru üzerindedir). Karbon atomlarının

melezleşmesi nedir? Allende sigma ve pi bağlarının oluşumunu gösteren bir diyagram çizin.

- 10.40 PF_5 'de fosforun melezleşmesini gösteriniz.
- 10.41 Aşağıdaki moleküllerde kaç tane sigma ve pi bağı vardır?



- 10.42 Tetraasiyanoetilen molekülünde kaç tane pi, kaç tane sigma bağı vardır?



- 10.43 İyot atomunun sp^1d olarak melezleştiği, iyot ve flor'dan oluşan bir katyonun formülünü veriniz.
- 10.44 İyot atomunun sp^3d^2 olarak melezleştiği, iyot ve flor'dan oluşan bir anyonun formülünü veriniz.

Molekül Orbital Kuramı

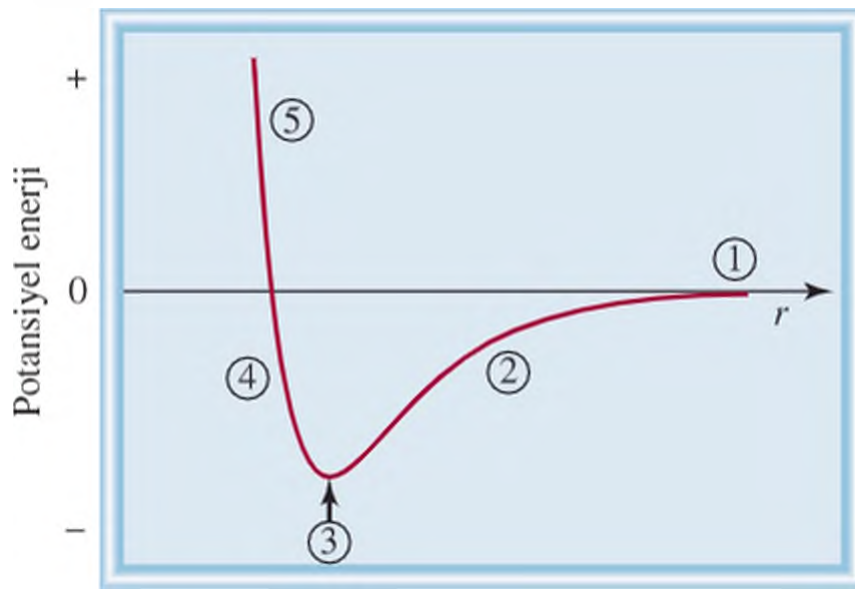
Tarama Soruları

- 10.45 Molekül orbital kuramı nedir? Değerlik bağ kuramından farkı nedir?
- 10.46 Şu molekül orbitallerinin şeklini çizin: σ_{1s} , σ_{1s}^* , π_{2p} ve π_{2p}^* . Enerjilerini karşılaştırınız?
- 10.47 Kimyasal bağ oluşumu için Lewis kuramı, değerlik bağ kuramı ve molekül orbital kuramını karşılaştırınız.
- 10.48 Bağ derecesinin önemini açıklayınız. Bağ derecesi kimyasal bağların kuvvetlerini nicel olarak karşılaştırmak için kullanılabilir mi?

Problemler

- 10.49 H_2 molekülü önce H_2^- , sonra H_2^+ türlerine iyonlaştığında $\text{H}-\text{H}$ çekirdekleri arasındaki mesafe değişimlerini molekül orbital kuramıyla açıklayınız.
- 10.50 İki H atomundan H_2 oluşumu enerji bakımından mümkündür. Ancak, istatistiksel olarak herhangi iki H atomunun tepkimeye girmesi %100'den daha az ihtimaldir. Enerjiyi düşünmeksizin, bu durumu iki H atomunun elektron spinleriyle nasıl açıklarsınız.
- 10.51 Yandaki türlerin herbiri için molekül orbital enerji seviyesi diyagramı çizin: He_2 , HHe , He_2^- . Bağ derecelerine göre kararlılıklarını karşılaştırınız. (HHe 'yi üç elektrona sahip iki atomlu bir molekül olarak düşününüz).

- 10.52** Aşağıdaki türleri artan kararlılığa göre sıralayınız: Li_2 , Li_2^+ , Li_2^- . Sıralamanızı molekül orbital enerji seviyesi diyagramı ile doğrulayınız.
- 10.53** Be_2 molekülünün neden var olamayacağını molekül orbital kuramını kullanarak açıklayınız.
- 10.54** B_2 ve B_2^+ türlerinden hangisinin bağı daha uzundur? Molekül orbital kuramına göre açıklayınız.
- 10.55** Asetilen (C_2H_2), iki proton (H^+) kaybederek CaC_2 ve MgC_2 gibi birçok iyonik bileşiğin yapısında bulunan karbür iyonu (C_2^{2-}) oluşturma eğilimindedir. CC_2^{2-} iyonundaki bağlanmayı molekül orbital kuramına göre şemayla açıklayınız. C_2^{2-} deki bağ derecesini C_2 'deki ile karşılaştırınız.
- 10.56** Oksijen molekülünün Lewis ve molekül orbital kuramına göre oluşumunu karşılaştırmamız.
- 10.57** N_2 'nin bağ derecesinin N_2 dan daha büyük olması ile, O_2 'nin bağ derecesinin O_2 dan daha küçük oluşunun nedenini açıklayınız.
- 10.58** Aşağıdaki türlerin birbirine göre kararlılıklarını karşılaştırmamız ve manyetik özelliklerini belirtiniz (diyamanyetik ya da paramanyetik): O_2 , O_2^+ , O_2^- (superoksit iyonu), O_2^{2-} (peroksit iyonu).
- 10.59** Molekül orbital kuramını kullanarak F_2 ve F_2^+ nın birbirine göre kararlılıklarını karşılaştırmamız.
- 10.60** Tekli bağ her zaman bir sigma bağı, ikili bağ ise bir sigma ve bir pi bağından oluşur. Bu kuralın çok az istisnası vardır. B_2 ve C_2 moleküllerinin bu istisnalara örnek olduklarını gösteriniz.
- 10.61** 2009 yılında N_2^+ iyonu izole edilebilmiştir. Bu iyonun özelliklerini (bağ derecesi ve manyetik özelliği) bir molekül orbital diyagramı kullanarak, izoelektronik iyon olan O^2 ile karşılaştırmamız.
- 10.62** Aşağıdaki potansiyel enerji eğrisi, iki F atomundan F_2 oluşumunu göstermektedir. İşaretli bölgelerde bağlanma durumlarını açıklayınız.



Delokalize Molekül Orbitalleri

Tarama Soruları

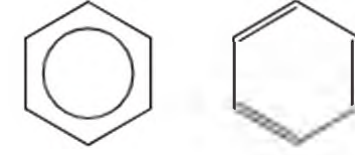
- 10.63** Bir delokalize molekül orbitali H_2 ya da C_2H_4 'deki gibi bir molekül orbitalinden nasıl farklıdır? Bir delokalize molekül orbitalinin oluşması için en az ko-

şulların (örneğin, atom sayıları ve orbital tipleri) ne olması gerektiği hakkında ne düşündünüz?

- 10.64** 9. Bölümde, rezonans kavramının benzen molekülü ve karbonat iyonu gibi türleri incelerken yararlı olduğunu gördük. Molekül orbital kuramı bu türleri nasıl ele alır?

Problemler

- 10.65** Hem etilen (C_2H_4) hem de benzen (C_6H_6) molekülleri $\text{C}=\text{C}$ bağı içerir. Etilenin etkinliği benzenden daha fazladır. Örneğin, etilen moleküller bromla kolayca tepkimeye girerken, benzen normal koşullarda moleküller bromla ve başka birçok molekülle tepkimeye girmez. Etkinlikteki bu farkı açıklayınız.
- 10.66** Benzen molekülünü soldaki sembolün sağdakine göre neden daha iyi tanımladığını açıklayınız.



- 10.67** Aşağıdaki moleküllerden hangisinin daha çok delokalize orbitale sahip olduğunu belirleyiniz ve nedenini açıklayınız.



(İpucu: Her iki molekül de iki benzen halkası içerir. Naftalinde, iki halka birbirine bitişiktir. Bifenilde ise iki halka, halkaların etrafında dönebileceği tek bağla bağlıdır).

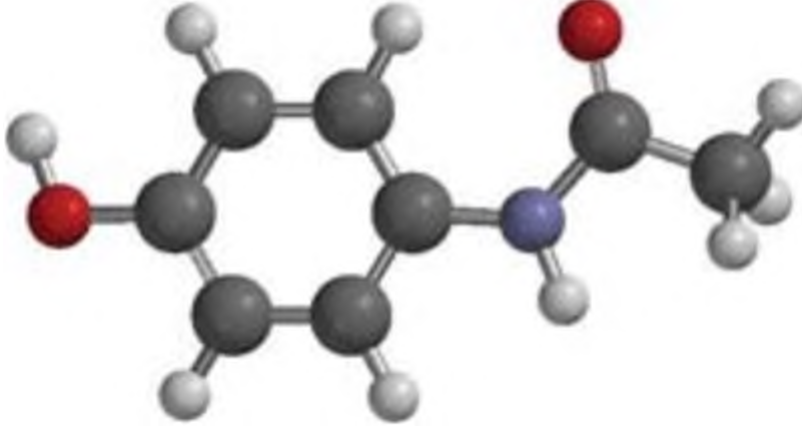
- 10.68** Nitril florür (FNO_2) kimyasal bakımdan çok etkindir. Flor ve oksijen atomları azot atomuna bağlıdır. (a) FNO_2 için bir Lewis yapısı yazınız. (b) azot atomunun melezleşmesini gösteriniz. (c) Molekül orbital kuramına göre bağ oluşumunu açıklayınız. Burada delokalize molekül orbitali oluşmasını beklemisiniz?
- 10.69** Delokalize molekül orbitalleri temelinde nitrat iyonunda (NO_3^-) bağ oluşumunu açıklayınız.
- 10.70** O_3 'de merkez O atomunun melezleşmesi nedir? Delokalize molekül orbitalleri temelinde O_3 'de bağ oluşumunu açıklayınız.

Additional Problemler

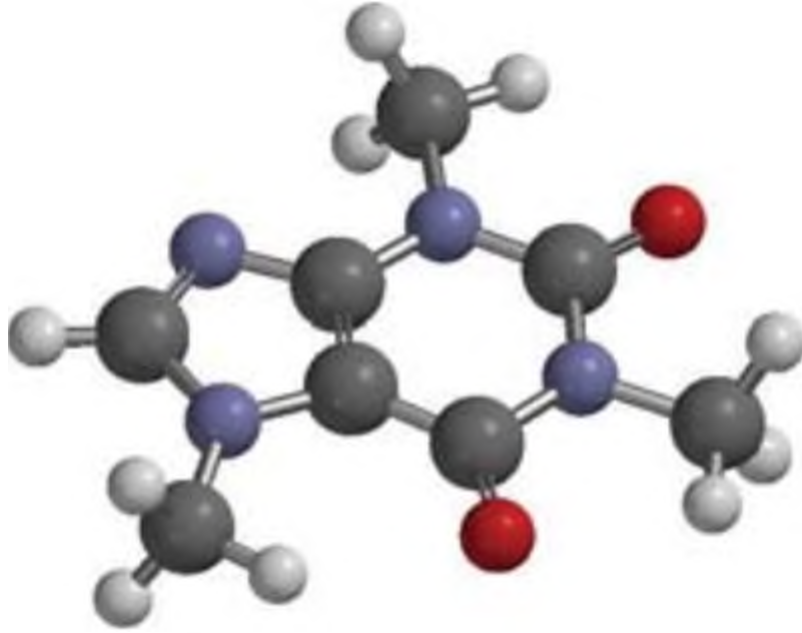
- 10.71** Aşağıdakilerden hangileri dörtyüzlü geometriye sahip değildir? (a) SiBr_4 , (b) NF_4^+ , (c) SF_4 , (d) BeCl_4^{2-} , (e) BF_4^- , (f) AlCl_4^-
- 10.72** Cıva (II) bromürün Lewis yapısını çizin. Molekül doğrusal mıdır, açısallı mıdır? Geometrisini nasıl belirlersiniz?
- 10.73** Yanda verilen moleküllerde bağ momentlerini ve toplam dipol momentleri gösteriniz: H_2O , PCl_3 , XeF_4 , PCl_5 , SF_6 .

- 10.74** Karbon ve silisyumun her ikisi de 4A Grubu elementi olduğu halde. Si=Si bağı çok ender görülür. Genelde silisyum-silisyum bağının kararsız oluşumu açıklayınız (*İpucu:* Şekil 8.5'e bakarak C ve Si'nin atom yarıçaplarını karşılaştırınız. Pi bağı oluşumunda hangi etki daha büyüktür?)

- 10.75 Asetaminofen Tylenol'ün aktif bileşenidir. (a) Bileşiğin molekül formülünü yazınız. (b) C, N ve O atomlarının herbirinin melezleşmesi nedir? (c) C, N ve O atomlarının herbirinin etrafındaki geometriyi belirtiniz.



- 10.76** Kafein kahvede bulunan uyarıcı bir bileşiktir. (a) Bileşiğin molekül formülünü yazınız. (b) C, N ve O atomlarının herbirinin melezleşmesi nedir? (c) C, N ve O atomları etrafındaki geometriyi açıklayınız.



- 10.77 Kükürt diklorür'ün (SCl_2) geometrisini ve kükürt atomunun melezleşmesini belirleyiniz.
- 10.78** Antimon pentaflorür (SbF_5), XeF_4 ve XeF_6 ile $\text{XeF}_3^+ \text{SbF}_6^-$ ve $\text{XeF}_5^+ \text{SbF}_6^-$ iyonik bileşiklerini vermek üzere tepkimeye girer. Bu iki bileşikte kation ve anyonların geometrilerini gösteriniz.
- 10.79 Verilen şu bileşiklerin Lewis yapılarını çiziniz ve soruları yanıtlayınız: (a) BF_3 . Şekli: düzlemsel mi, değil mi? (b) ClO_3^- . Şekli: düzlemsel mi, değil mi? (c) H_2O . Net dipol momentin yönünü gösteriniz. (d) OF_2 . Molekül polar mı, polar değil mi? (e) NO_2 . ONO bağ açısını belirtiniz.
- 10.80** Verilen şu moleküllerin bağ açılarını belirleyiniz: (a) BeCl_2 , (b) BCl_3 , (c) CCl_4 , (d) CH_3Cl , (e) Hg_2Cl_2 (atomların dizilişi: ClHgHgCl), (f) SnCl_2 , (g) H_2O_2 , (h) SnH_4 .

- 10.81 Molekül geometrilerinin belirlenmesi için VSEPR ve melezleşme yaklaşımlarını ana hatlarıyla karşılaştırınız.

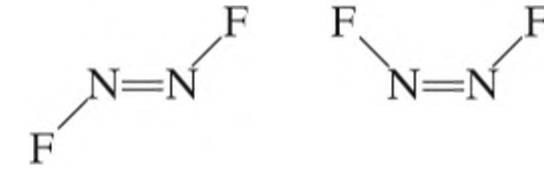
- 10.82** Arsenik pentaflorür (AsF_5)'de arseniğin melezleşmesi nedir?

- 10.83 Aşağıda verilen türlerin Lewis yapılarını çiziniz ve soruları yanıtlayınız: (a) SO_3 . Molekül polar mı, değil mi? (b) PF_3 . Molekül polar mı ya da değil mi? (c) F_3SiH . Net dipol momentin yönünü gösteriniz. (d) SiH_3^- . Şekil düzlemsel mi yoksa piramit mi? (e) Br_2CH_2 . Molekül polar mı, değil mi?

- 10.84** Verilen şu moleküllerden hangileri doğrusaldır? ICl_2 , IF_2 , OF_2 , SnI_2 , CdBr_2

- 10.85 BeCl_4^{2-} iyonunun Lewis yapısını çiziniz. Geometrisini belirleyerek Be atomunun melezleşmesini gösteriniz.

- 10.86** N_2F_2 molekülü aşağıdaki iki yapıdan biri şeklinde bulunabilir:

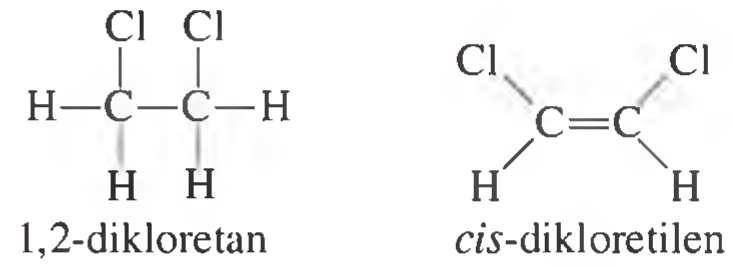


- (a) Molekülde N'nin melezleşmesi nedir?

- (b) Hangi yapının bir dipol momentine sahiptir?

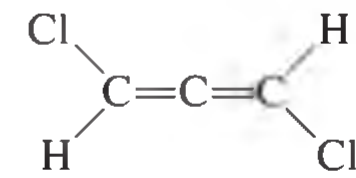
- 10.87 Siklopropanın (C_3H_6) yapısı şöyledir: Bir C atomunun iki H atomu ve diğer iki C atomuna bağlı olduğu üçgen geometriye sahiptir. Küban (C_8H_8) küp biçiminde olup her C atomu bir H atomuna ve küpün köşelerindeki başka C atomuna bağlıdır. (a) Bu moleküllerin Lewis yapılarını çiziniz. (b) Bu moleküllerdeki CCC açılarını sp^3 melezleşmiş C atomu için öngörülenle karşılaştırınız. (c) Bu moleküllerin eldesinin kolay olmasını bekler misiniz?

- 10.88** 1,2-dikloreten ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$), polar olmayan bir bileşik olmasına karşın, *cis*-dikloretilen'in ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$) net bir dipol momentine sahiptir:



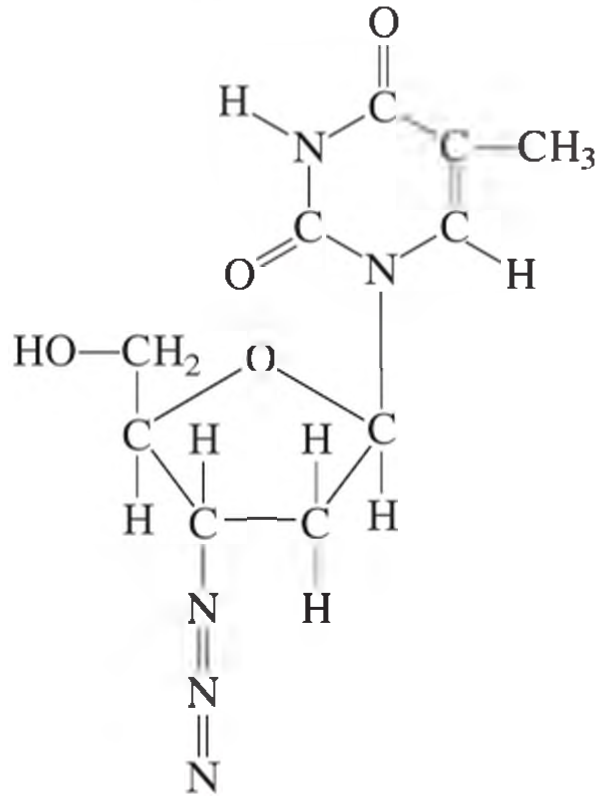
İki molekül arasındaki bu farkın nedeni, birincisinde dönebilen tekli bağla bağlı gruplar ($\text{C}-\text{C}$) olmasına rağmen ikincisinde, ikili bağ olduğundan dönme olmamasıdır. Bağ oluşumlarını gözönüne alarak neden 1,2-dikloreten'de dönme olduğunu, *cis*-dikloretilende ise olmadığını açıklayınız.

- 10.89 Aşağıdaki molekülün bir dipol momentine var mıdır?

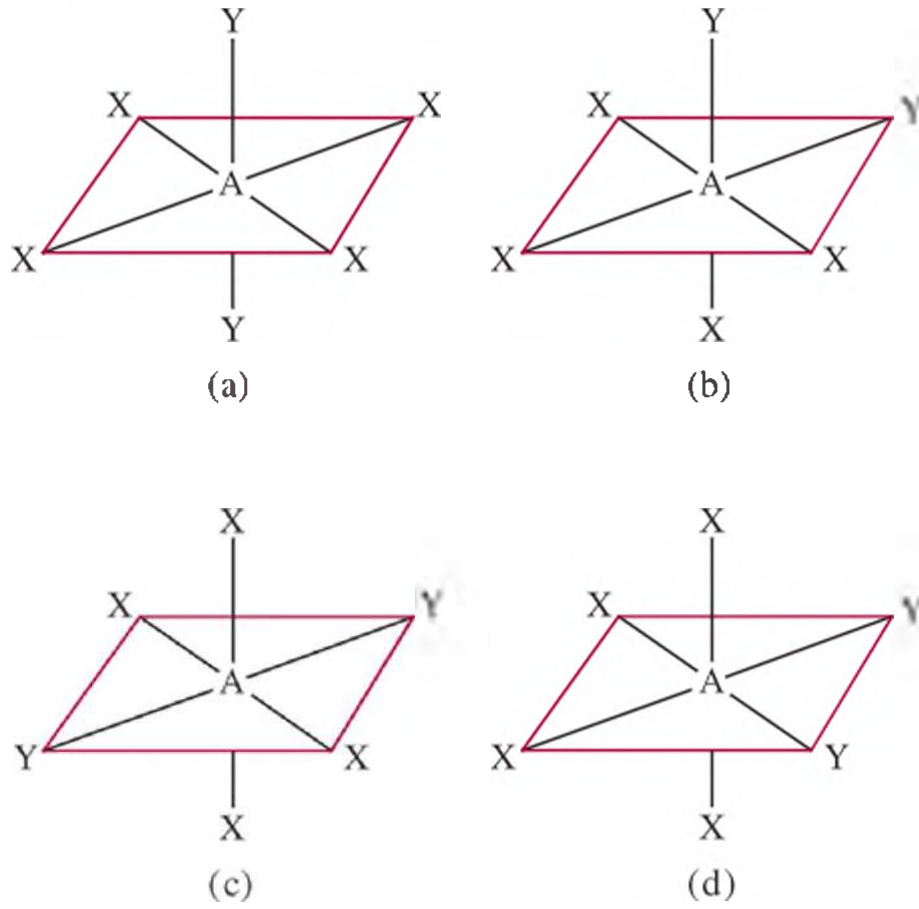


(*İpucu:* Yanıt için Problem 10.39'a bakınız.)

- 10.90** Küresel ısınmaya katkıda bulunan sera gazlarının ya bir dipol momentleri vardır ya da bir dipol momentleri olacak şekilde bükülebilirler veya şekil değiştirebilirler. Aşağıdaki gazlardan hangileri seragazlarındandır? N_2 , O_2 , O_3 , CO , CO_2 , NO_2 , N_2O , CH_4 , $CFCl_3$
- 10.91** SO_2 'nin bağ açısı S üzerinde bir yalın elektron çifti olmasına karşın 120° ye çok yakındır. Açıklayınız.
- 10.92** Aşağıda formülü verilen 3'-azido-3'-deoksitimidin, genel olarak AZT olarak bilinir ve AIDS'e karşı kullanılan ilaçlardan biridir. Bu molekülde C ve N atomlarının melezleşmeleri nedir?



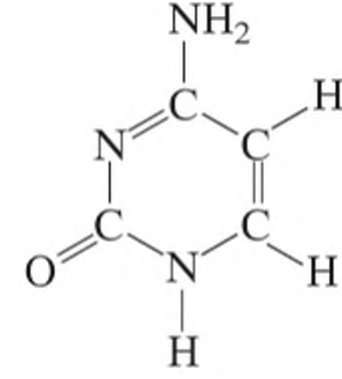
- 10.93** Aşağıdaki moleküllerin (AX_4Y_2) hepsi sekizyüztlü geometriye sahiptir. Birbirine eşdeğer olan molekülleri gruplayınız.



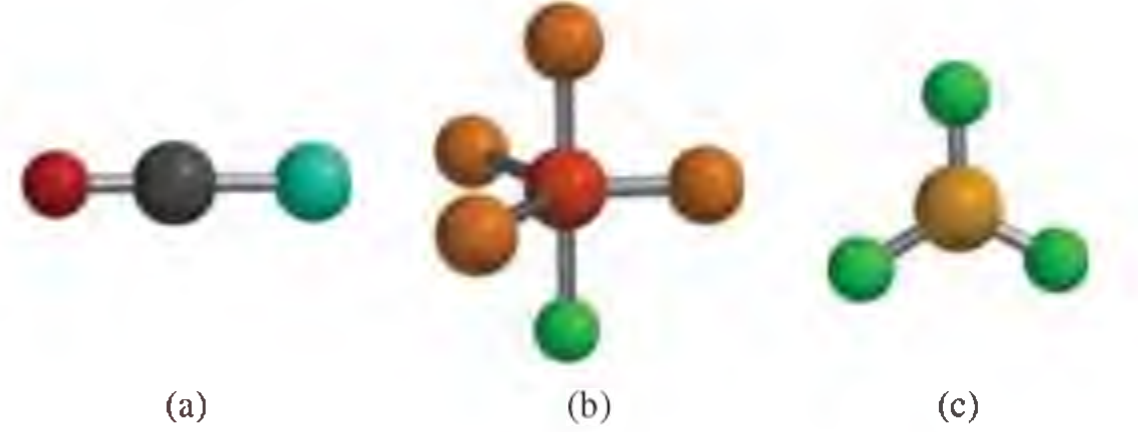
- 10.94** Karbon tetraklorür (CCl_4) ve silisyum tetraklorür ($SiCl_4$) bileşiklerinin hem geometrileri hem de melezleşmeleri benzerdir. Ancak, CCl_4 su ile tepkime vermezken $SiCl_4$ verir. Kimyasal etkinlikleri arasındaki bu farkı açıklayınız. (İpucu: Tepkimenin ilk ba-

samağında $SiCl_4$ 'deki Si atomuna bir su molekülünün katıldığı öngörülür.)

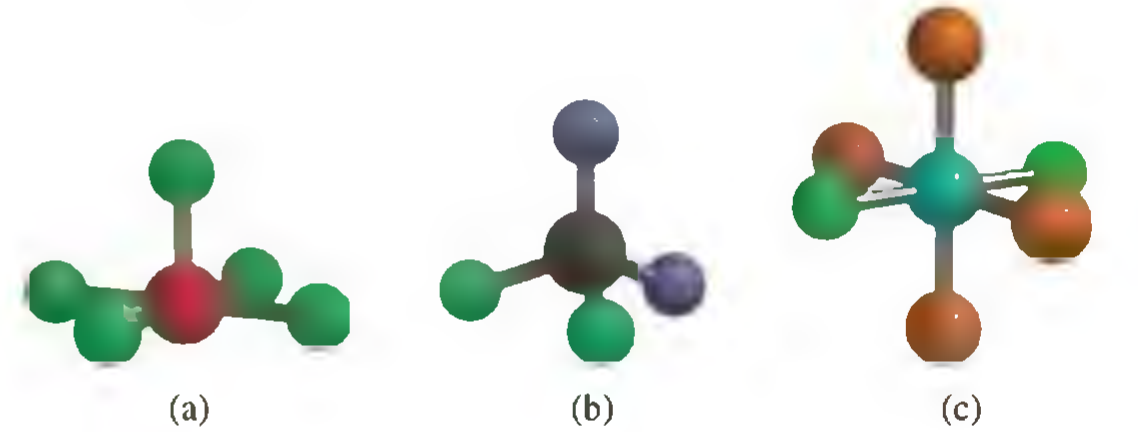
- 10.95** B_2 için temel hal elektron dağılımını yazınız. Molekül diyamanyetik mi, paramanyetik midir?
- 10.96** Aşağıdaki molekülde C ve N atomlarının melezleşmeleri nedir?



- 10.97** F_2 ve F_2^- nin bağ enerjileri arasındaki farkı molekül orbital kuramıyla açıklayınız (Problem 9.110'a bakınız.).
- 10.98** Sayfa 428'de "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasını gözönüne alarak, aşağıdaki soruları yanıtlayınız: (a) Bir biftek pişirmek istediğinizde bir mikrodalga fırın mı yoksa klasik bir fırın mı kullanırsınız? (b) Radar, cisimden kaynağa geri dönen bir mikrodalganın yankısı için geçen zamanın ve geri dönme yönünün ölçülmesiyle yer belirlenmesini ifade eder. Eğer havadaki oksijen, azot ve karbon dioksit polar moleküller olsaydı radar çalışırmıydı? (c) II. Dünya savaşı sırasında, İngiliz kanalında, radarın ilk denemeleri ekipman arızası olmamasına karşın başarısızdı. Neden? (İpucu: Hava o bölgede genellikle sislidir.)
- 10.99** Aşağıdaki moleküllerin hangileri polardır?



- 10.100** Aşağıdaki moleküllerin hangileri polardır?



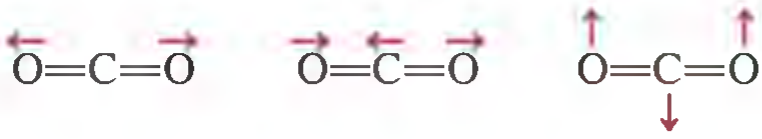
- 10.101** Fosforun kararlı allotropik hali her fosfor atomunun diğer üç P atomuna bağlı olduğu P_4 'dür. Bu molekül için bir Lewis yapısı yazınız ve geometrisini belirleyiniz. Yüksek sıcaklıklarda, P_4 bir $P=P$ bağı içeren P_2 moleküllerine parçalanır. P_4 'ün neden P_2 'den daha kararlı olduğunu açıklayınız.

- 10.102** Çizelge 9.4'ü kullanarak, Cl_2 'nin bağ entalpisinin F_2 'den neden daha büyük olduğunu açıklayınız. (İpucu: Sırasıyla F_2 ve Cl_2 'nin bağ uzunlukları 142 pm ve 199 pm'dir.)
- 10.103 Azür iyonu (N_3^-) için bağ oluşumunu molekül orbital kuramıyla açıklayınız. (Atomların düzeni NNN şeklindedir.)
- 10.104** İki atomlu bir molekülde, bağın iyonik karakteri aşağıdaki formülle belirlenir:

$$\frac{\mu}{ed} \times \%100$$

Burada μ , deneysel olarak ölçülen dipol moment (C m, biriminde), e elektron yükü ve d metre cinsinden bağ uzunluğudur. ($e d$ çarpımı bir elektronun, elektronegatifliği az olan atomdan çok olan atoma tamamen aktarılması halinde, varsayımsal dipol momenttir). HF 'nin dipol moment ve bağ uzunluğu sırasıyla 1,92 D ve 91,7 pm olduğuna göre, molekülün yüzde iyonik karakterini hesaplayınız.

- 10.105 $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2$ formülüne sahip bileşikler için üç Lewis yapısı yazınız. Hangisi ya da hangilerinin polar olduğunu gösteriniz
- 10.106** Sera gazları, yeryüzünden çıkan kızılötesi ışımayı soğutur (tuzaklar) ve küresel ısınmaya neden olur. Bir sera gazı molekülünün ya kalıcı bir dipol momentine ya da titreşim hareketleri nedeniyle değişen bir dipol momentine sahiptir. Karbon dioksitin üç titreşim hareketini gözönüne alınız.



Burada oklar atomların hareket yönünü gösterir. (Titreşimin bir devri süresince, atomlar bir uç konuma doğru hareket eder, sonra yönlerini diğer uç konuma çevirirler.) Yukarıdaki titreşimlerden hangisi CO_2 'in bir sera gazı olmasından sorumludur? Aşağıdaki moleküllerden hangisi bir sera gazı olarak davranabilir? N_2 , O_2 , CO , NO_2 ve N_2O ?

- 10.107 Alüminyum triklorür (AlCl_3), elektronca eksik olan bir moleküldür ve bu yüzden bir dimer (iki AlCl_3 biriminden oluşan) oluşturmaya eğilimlidir:

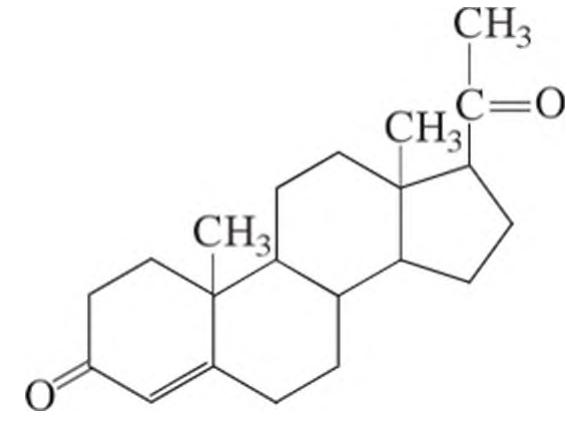


(a) Dimer için bir Lewis yapısı çizin. (b) AlCl_3 ve Al_2Cl_6 'da Al'nin melezleşmesini gösteriniz. (c) Dimerin geometrisini çizin. (d) Bu moleküllerin dipol momentleri var mıdır?

- 10.108** Sayfa 427'de gösterilen *cis*-dikloretilen ve *trans*-dikloretilen molekülleri ısı ya da ışık etkisiyle birbirlerine dönüşebilirler. (a) *cis*-dikloretilenden baş-

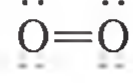
layarak $\text{C}=\text{C}$ bağının 180° döndürülebilmesi için sadece pi bağının kırılması gerektiğini, sigma bağının kırılmasına gerek olmadığını gösteriniz. Bu işlemle *trans*-dikloretilenin oluşmasını açıklayınız. (90° lik iki adımda dönmeyi düşündünüz.) (b) pi bağı (yaklaşık 270 kJ/mol) ile sigma bağı (yaklaşık 350 kJ/mol) enerjileri arasındaki farklı hesaplayınız, açıklayınız. (c) Bu dönüşümün olabilmesi için gereken ışık enerjisinin en uzun dalga boyunu hesaplayınız.

- 10.109 Progesteron, dişi cinsellik özelliklerinden sorumlu bir hormondur. Molekül yapısının alışılmış kısa gösterimlerinde her çizginin birleştiği nokta bir C atomunu gösterir ve H atomlarının çoğu da gösterilmez. C ve H atomlarının tamamını göstererek molekülün yapısını çizin. Hangi atomların sp^2 ve sp^3 melezleştiklerini gösteriniz.



- 10.110** Birinci iyonlaşma enerjisi daha küçük olan hangisidir? (a) H veya H_2 , (b) N veya N_2 (c) O veya O_2 (d) F veya F_2 ? Açıklayınız.
- 10.111 Benzin (C_6H_4) molekülü çok etkin bir türdür. Benzen gibi altı karbonlu bir halka içerir. Molekülün Lewis yapısını çizin ve yüksek etkinliğini açıklayınız.
- 10.112** Üçüncü periyot elementi olan fosforun, tıpkı azotun N_2 oluşturmaya benzer şekilde, iki atomlu bir P_2 molekülü oluşturduğunu varsayınız. (a) P_2 'nin elektron dağılımını yazınız. İlk iki periyotun elektron dağılımını $[\text{Ne}_2]$ şeklinde gösteriniz. (b) Bağ derecesini hesaplayınız. (c) Manyetik özelliği nedir (diamanyetik mi ya da paramanyetik mi)?
- 10.113 Birinci uyarılmış elektronik seviyede bir N_2 molekülü düşündünüz. Yani, en yüksek dolu molekül orbitalinden en düşük boş molekül orbitaline bir elektron atladığını düşündünüz. (a) İlgili molekül orbitalleri göstererek geçişi gösteren bir diyagram çizin. (b) N_2^* ile N_2 'nin bağ derecesi ve bağ uzunluklarını karşılaştırınız. Burada yıldız uyarılmış molekülü belirtir. (c) N_2^* diyamanyetik mi yoksa paramanyetik midir? (d) N_2^* enerjisini kaybederek temel hal N_2 'ye döndüğünde, 470 nm dalga boyunda bir foton yayar. Bu da kızıl ışıkların bir kısmıdır. Bu seviyeler arasındaki enerji farkını hesaplayınız.

- 10.114** Bölüm içerisinde söz edildiği gibi, O_2 'nin Lewis yapısı şöyledir:



Molekül orbital kuramını kullanarak, bu yapının gerçekte oksijen molekülünün uyarılmış haline karşılık geldiğini gösteriniz.

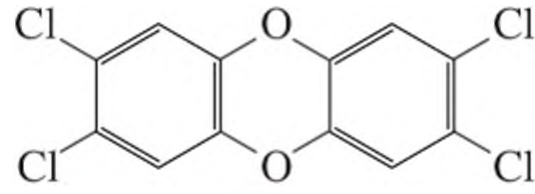
- 10.115 Problem 9.137'de, N atomunun melezleşmesini ve iyonun tam şeklini gösteriniz.

- 10.116** Aşağıdaki tepkimenin tepken ve ürünlerinin geometrilerini ve melezleşmelerini gösteriniz.



- 10.117 Keten (C_2H_2O) molekülünün Lewis yapısını ve C atomlarının melezleşmesini gösteriniz. Molekül O—H bağları içermez. Sigma ve pi bağlarının oluşumunu ayrı diyagramlar üzerinde gösteriniz.

- 10.118** TCCD, ya da 2,3,7,8-tetraklordibenzo-*p*-dioksin, çok zehirli bir bileşiktir.



Bu bileşik 2004'de Ukraynalı bir politikacının suikastinde kullanıldığında çok tanındı. (a) Geometrisini ve molekülün bir dipol momenti olup olmadığını belirleyiniz. (b) Molekülde kaç tane pi bağı ve sigma bağı vardır?

- 10.119 Siyanür anyonunun (CN^-) elektron dağılımını yazınız. Bu iyonla izoelektronik olan kararlı bir molekülün adını veriniz.

- 10.120** Karbon monoksit(CO) hemoglobin molekülündeki Fe^{2+} ye kuvvetle bağlanma eğiliminden dolayı zehirli bir bileşiktir. CO 'in molekül orbitalleri N_2 molekülü ile aynı enerji düzeyindedir. (a) CO için bir Lewis yapısı çizerek, formal yükleri belirleyiniz. CO 'in niçin 0,12 D'dan daha küçük bir dipol momente sahip olduğunu açıklayınız. (b) CO 'in molekül orbital kuramıyla belirlenen bağ derecesiyle karşılaştırınız. (c) Hangi atom (C ya da O) hemoglobindeki Fe^{2+} iyonu ile bağ oluşturmaya daha uygundur?

- 10.121 Bu bölümde incelenen geometrilerin hepsi bağ açıları oldukça doğru olarak açıklamaktadır. Ancak, dört yüzlü geometri bir istisnadır. Çünkü onun bağ açıları canlandırmak zordur. Dört yüzlü geometriye sahip ve polar olmayan CCl_4 molekülünü düşününüz. Bu molekülde bir C—Cl bağ momentini zıt yöndeki diğer üç C—Cl bağının toplam bağ momentine eşitleyerek tüm bağ açılarının $109,5^\circ$ olduğunu gösteriniz.

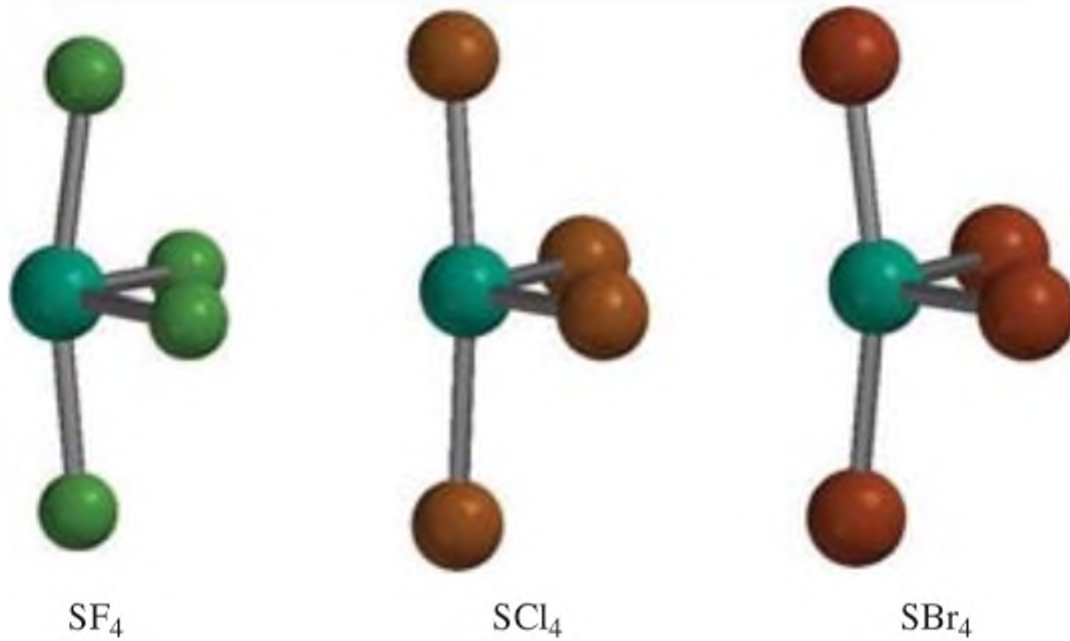
- 10.122** Karbon suboksit (C_3O_2) renksiz, keskin kokulu bir gazdır. Acaba bir dipol momenti var mıdır?

- 10.123 Aşağıdaki iyonlardan hangilerinin dipol momenti vardır? (a) ClF_2 , (b) ClF_2^- , (c) IF_4 , (d) IF_4^- .

- 10.124** NO için verilen enerji düzeyleri, O_2 'ninkine benzerdir. Aşağıdaki türleri artan bağ derecelerine göre sıralayınız: NO^{2-} , NO^- , NO , NO^+ , NO^{2+} .

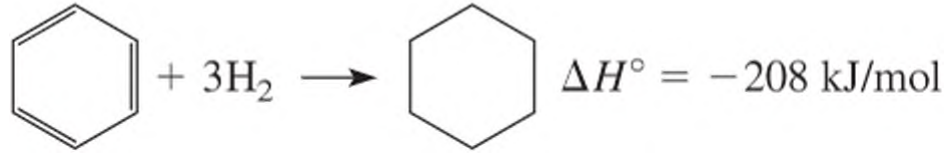
Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 10.125 Aşağıda SF_4 , SCl_4 ve SBr_4 molekül modelleri gösterilmektedir. Bu moleküllerde aksiyal S—F bağları arasındaki bağ açıları yönelimlerini yorumlayınız.



- 10.126 Bu Bölümde ve 9. Bölümde öğrendiklerinize dayanarak, bilinen en kuvvetli ve en zayıf kimyasal bağı içeren diatomik moleküllerin adlarını söyleyiniz.

- 10.127 Benzenin kararlılığı elektron delokalizasyonunun eşit olduğu rezonans yapılarını yazabilmemizden ileri gelmektedir. *Rezonans enerjisi*, benzenin tek bir rezonans yapısı ile gösterilebilen düşsel moleküle göre, ne kadar daha kararlı olduğunu bir ölçütüdür. Sayfa 466'da sikloheksen'in (C_6H_{10}) sikloheksan'a (C_6H_{12}) ve benzen'in sikloheksan'a hidrojenlenme (hidrojen katması) entalpileri gösterilmiştir.



(Bu basitleştirilmiş formüllerde, çizgileri birleştiren her köşe bir C atomunu gösterir. sp^2 melezleşen C

atomuna bağlı bir H atomu ve sp^3 melezleşen C atomuna bağlı da iki H atomu vardır.) Bu verilerden benzenin rezonans enerjisini belirleyiniz.

10.128 Grafenin (grafenin yapısı için sayfa 457'de "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasına bakınız) bir santimetre karesinde kaç tane karbon atomu vardır? Grafenin 1cm^2 sinin kütlesi ne olmalıdır?

Alıştırmaların Cevapları

10.1 (a) Dört yüzütlü. (b) doğrusal. (c) üçgen düzlem. **10.2** Hayır. **10.3** (a) sp^3 , (b) sp^2 . **10.4** sp^3d^2 . **10.5** C atomu sp melezleşir. H atomuyla bir sigma bağı, N atomuyla başka bir sigma bağı yapar. C atomu üzerindeki

iki melezleşmemiş p orbitali N atomuyla iki pi bağı oluşturmada kullanılır. N atomu üzerindeki ortaklanmamış elektron çifti sp orbitalinde yer alır. **10.6** F_2^- .

Bölüm 11

Moleküllerarası Kuvvetler, Sıvılar ve Katılar



–51°C’deki havaya kaynar su atan biri.

Bölüm Başlıkları

- 11.1 Sıvı ve katıların kinetik moleküler teorisi
- 11.1 Moleküller arası kuvvetler
- 11.3 Sıvıların özellikleri
- 11.4 Kristal yapısı
- 11.5 Kristallerde X-ışını kırınımı
- 11.6 Kristal tipleri
- 11.7 Amorf katılar
- 11.8 Faz değişimleri
- 11.9 Faz diyagramları

Toplu Bakış

- İşe önce kinetik teoriyi sıvı ve katılara uygulamakla başlayacağız daha sonra bunların özelliklerini gazların özellikleri ile karşılaştıracacağız (11.1).
- Sonra, moleküller arasında veya moleküllerle iyonlar arasında meydana gelen çeşitli moleküller arası kuvvetleri inceleyeceğiz (11.2).
- Sıvıların iki önemli özelliği olan, yüzey gerilimi ve viskozitenin moleküllerarası kuvvetlere bağlı olarak nasıl açıklanabileceğini göreceğiz (11.3)
- Daha sonra, katılar dünyasına geçeceğiz ve kristallerin doğasını, atomların farklı birim hücreler oluşturmak üzere istiflenme şekillerini öğreneceğiz. (Kesim 11.4)
- Bir kristal yapının boyutlarını belirlemenin en iyi yolunun, kristalde bulunan atom veya moleküller tarafından X-ışını saçılmasına dayanan, X-ışını kırınımı metodu olduğunu göreceğiz (11.5)
- Başlıca kristaller iyonik, kovalent, moleküler ve metalik kristallerdir. Moleküller arası kuvvetler, bu kristallerin yapılarını ve fiziksel özelliklerini (örneğin yoğunluk, erime noktası ve elektriksel iletkenlik gibi) anlamamıza yardımcı olur. (11.6)
- Katıların üç boyutlu ve düzgün bir yapıdan yoksun olarak, amorf halde de bulunabileceklerini öğreneceğiz. Bu amorf katılar için iyi bilenen bir örnek ise cam’dır. (11.7)
- Bundan sonra faz değişimlerini yani gaz, sıvı veya katılar arasındaki geçişleri öğreneceğiz. Sıvı ile buhar arasındaki dinamik dengenin, denge buhar basıncını oluşturduğunu göreceğiz. Buharlaştırma için gerekli olan enerji, moleküller arası kuvvetin büyüklüğüne bağlıdır. Aynı zamanda, her maddenin buhar fazının üstünde ve tekrar sıvılaştırılamayan bir kritik sıcaklığa sahip olduğunu göreceğiz. Daha sonrada sıvı-katı ve katı-buhar geçişlerini inceleyeceğiz. (11.8).
- Bir faz diyagramında çeşitli türdeki faz geçişleri özetlenmiştir. Bu bize bir fazın kararlı olduğu koşulları ve faz değişimini gerçekleştirmek için gerekli olan sıcaklık yada basınç değişimini koşullarını anlamamıza yardımcı olur (11.9)

Dünya atmosferini oluşturan büyük bir gaz karışımı içinde yaşamamıza rağmen, görünür olmalarından dolayı sıvı ve katıların davranışlarını çok daha iyi bilmekteyiz. Her gün su veya başka sıvıları içme, temizlik işleri ve yemek pişirme amacıyla kullanırız. Katıları elle tutarız. Üstüne otururuz veya üstümüze giyeriz.

Sıvılarda moleküllerin hareketleri gazlarda olduğundan çok daha sınırlıdır. Katılarda ise atomlar veya moleküller sıkı bir şekilde istiflenmiş haldedir. Katılarda atom ya da moleküller belirli konumlarda tutulmakta olup birbirine göre çok az hareket edebilirler. Bu bölümde sıvı ve katıların yapılarını inceleyeceğiz ve maddenin bu iki halinin temel özelliklerini göreceğiz. Ayrıca gazlar, sıvılar ve katılar arasındaki geçişlerin nasıl gerçekleştiğini tartışacağız.

11.1 Sıvı ve Katıların Kinetik Molekül Kuramı

Bölüm 5’de gaz moleküllerinin davranışlarını, moleküllerin sürekli ve sabit gelişigüzel hareketlerine dayanarak açıklarken kinetik molekül kuramını kullanmıştık. Normal sıcaklık ve basınçta (25°C ve 1atm) gaz molekülleri arasındaki uzaklık, moleküllerin boyutlarına göre çok fazla olduğundan, moleküller arasında önemli bir etkileşim yoktur. Gaz molekülleri arasında çok büyük boşluklar bulunduğu için, gazlar kolayca sıkıştırılabilirler. Gazlarda moleküller arasında güçlü çekim kuvvetleri olmadığından, içine konuldukları kabın şeklini alacak biçimde genişlerler. Gazların normal koşullarda neden çok düşük yoğunluklara sahip olduğu da yine moleküller arasındaki çok büyük boşlukla açıklanabilir.

Sıvılar ve katılar ise farklı bir konudur. Maddenin yoğun halleri (sıvı ve katılar) ile gaz hali arasındaki en temel fark moleküller arasındaki boşluktur. Sıvılarda, moleküller birbirine çok yakın olup, aralarında çok az boşluk bulunur. Dolayısıyla sıvıları sıkıştırmak gazları sıkıştırmaktan çok daha zordur ve sıvılar normal koşullarda çok daha yoğundur. Sıvıdaki moleküller Kesim 11.2’de anlatacağımız gibi bir ya da daha fazla çekim kuvvetiyle bir arada tutulurlar. Sıvı molekülleri, moleküller arası çekim kuvvetlerinden kurtulamadıklarından, sıvıların belirli hacimleri vardır. Sıvı molekülleri birbirleri üzerinde kayabildiklerinden, sıvılar akıcıdır ve içine kondukları kabın şeklini kolayca alabilirler.

Katılarda ise moleküller, hemen hemen hiçbir hareket serbestisi olmadan, belli bir konumda sabit tutulurlar. Birçok katı uzun sıralı bir düzen ile karakterize edilir. Başka bir deyişle, moleküller üç boyutlu bir yapıda düzgün bir şekilde dizilmişlerdir. Katılardaki boşluk sıvılardakinden de azdır. Katılar neredeyse hiç sıkıştırılmazlar, belli bir şekil ve hacme sahiptirler. Birkaç istisna dışında (en önemlisi su) bir maddenin katı halinin yoğunluğu daima sıvı halinin yoğunluğundan fazladır. Katı ve sıvı halin beraberce mevcut olduğu birçok durum vardır. Bir bardak suda (sıvı) yüzen bir buz kalıbı (katı) buna tipik bir örnektir. Kimyacılar bir maddenin bir sistemde bulunan farklı hallerine *faz* adını verirler. Bir *faz*, bir sistemin diğer kısımları ile temasta olan ancak net ve açık sınırlar

Çizelge 11.1 Gazların, Sıvıların ve Katıların Karakteristik Özellikleri

Maddenin bulunduğu hal	Hacim /Şekil	Yoğunluk	Sıkıştırılabilirlik	Moleküllerin Hareketi
Gaz	Bulundukları kabın hacmini doldurur şeklini alırlar	Düşük	Oldukça sıkıştırılabilirler	Tamamen serbestçe hareket edebilirler
Sıvı	Belli bir hacimleri olup bulundukları kabın şeklini alırlar	Yüksek	Çok az sıkıştırılabilirler	Birbirlerinin üzerinden kayarak serbest hareket ederler
Katı	Belli bir şekilleri ve hacimleri vardır	Yüksek	Hemen hemen hiç sıkıştırılmazlar	Sabit bir pozisyonda titreşebilirler

ile ayrılan homojen kısımdır. Yani yukarıdaki buzlu su, suyun hem sıvı hem de katı fazını içerir. Bu bölümde “faz” terimini, hem tek bir maddenin hal değişiminden hem de bir maddenin birden fazla fazını içeren sistemlerden söz ederken kullanacağız. Çizelge 11.1’de maddenin üç fazının karakteristik özellikleri özetlenmiştir.

11.2 Moleküller Arası Kuvvetler

Moleküller arası kuvvetler moleküllerin arasındaki çekim kuvvetleridir. Bu kuvvetler, Bölüm 5’de anlatıldığı gibi, gazların ideal olmayan davranışlarından sorumludur. Moleküller arası kuvvetlerin maddenin yoğun halleri olan sıvı ve katılardaki etkileri çok daha fazladır. Bir gazın sıcaklığı azaldıkça moleküllerinin kinetik enerjileri de azalır. Sıcaklık yeterince düşükse, moleküllerin enerjileri komşu moleküllerin çekim kuvvetlerinden ayrılıp bağımsız hale geçemezler. İşte bu noktada, moleküller bir araya gelerek ufak sıvı damlacıkları oluşturmaya başlarlar. Gaz halinden sıvı haline geçişi ifade eden bu faz değişimine *yoğunlaşma* adı verilir.

Moleküller arası kuvvetlerin tersine **molekül içi kuvvetler** ise moleküldeki atomları bir arada tutar (Bölüm 9 ve 10’da –kimyasal bağlar– molekül içi kuvvetler incelendi). Molekül içi kuvvetler molekül kararlılığını sağlarken, moleküller arası kuvvetler maddenin kaynama ve donma noktası gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesinden birinci derecede sorumludur.

Genel olarak moleküller arası kuvvetler molekül içi kuvvetlerden daha zayıftır. Bir sıvıyı buharlaştırmak, molekül içi bağları kırmak için gerekli olan enerjiden çok daha az bir enerji gerektirir. Örneğin, 1 mol suyu buharlaştırmak için 41 kJ enerji gerekirken, aynı miktardaki suyun iki O–H bağı kırarak 930 kJ enerji gerekir. Bir maddenin kaynama noktasının yüksek olması, moleküller arası kuvvetlerinin güçlü olmasından kaynaklanır. Kaynama noktasında moleküllerin gaz fazına geçebilmesi için moleküller arası çekim kuvvetlerini yenecek kadar enerji verilmelidir. Eğer A maddesinin moleküller arası kuvvetleri B maddesinden daha güçlü ise, A maddesinin moleküllerini ayırmak için verilmesi gereken enerji B maddesinden daha fazladır. Bu durumda A’nın kaynama noktası B’ninkinden daha yüksektir. Aynı ilke maddelerin erime ve donma noktası için de geçerlidir. Genel olarak maddelerin erime noktaları moleküller arası kuvvetlerin gücü ile artar.

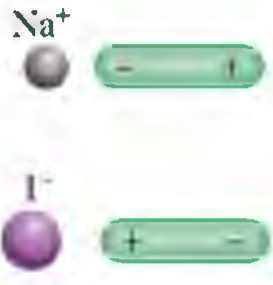
Maddenin yoğun hallerini incelerken, hangi tür moleküller arası kuvvetlerin etkili olduğunu bilmemiz gerekir. Bu farklı tip moleküller arası kuvvetler ilk olarak Alman fizikçi Johannes van der Waals (Kesim 5.8’e bakınız.) tarafından tarif edildiğinden, **van der Waals kuvvetleri** veya *dipol-dipol*, *dipol - indüklenmiş dipol* ve *dağılma kuvvetleri* olarak bilinirler. İyon ve dipollerin birbirini elektrostatik kuvvetlerle çektikleri *iyon-dipol kuvvetleri* van der Waals kuvvetleri olarak *adlandırılmaz*. Diğer yandan *hidrojen bağı*, çok güçlü bir dipol–dipol etkileşimidir. Sadece birkaç element hidrojen bağı yapabildiğinden, bu tür dipol-dipol etkileşimi ayrı bir sınıfa konulacaktır. Maddenin bulunduğu faza, kimyasal bağ türüne ve elementlerine bağlı olarak, moleküller arası çekim kuvvetine birden fazla kuvvet katkıda bulunabilir. Bu tür çekim kuvvetleri aşağıda incelenecektir.

Dipol–Dipol Kuvvetleri

Dipol-dipol kuvvetleri kutuplu (polar) moleküller arasındaki çekim kuvvetleridir. Başka bir deyişle, dipol momente sahip moleküller arasındaki çekim kuvvetleridir (Kesim 10.2’ye bakınız.). Bu kuvvetler elektrostatik kuvvetler olduğundan, Coulomb yasasına göre açıklanabilir. Buna göre dipol moment ne kadar büyükse, moleküller arası kuvvetlerde o kadar güçlüdür. Şekil 11.1’de bir katıdaki polar moleküllerin yönelişi görülmektedir. Sıvılardaki polar moleküller katılarda olduğu kadar güçlü bir elektrostatik çekim kuvvetiyle birbirine tutunmalarına karşın, yine de aralarındaki etkileşim en fazla olacak şekilde yönelirler.



Şekil 11.1 Kalıcı dipol momente sahip olan moleküller, katı fazda zıt kutupları birbirine yönelenerek dizilirler ve maksimum çekim kuvveti sağlarlar.



Şekil 11.2 İki tip iyon dipol etkileşimi

İyon–Dipol Kuvvetleri

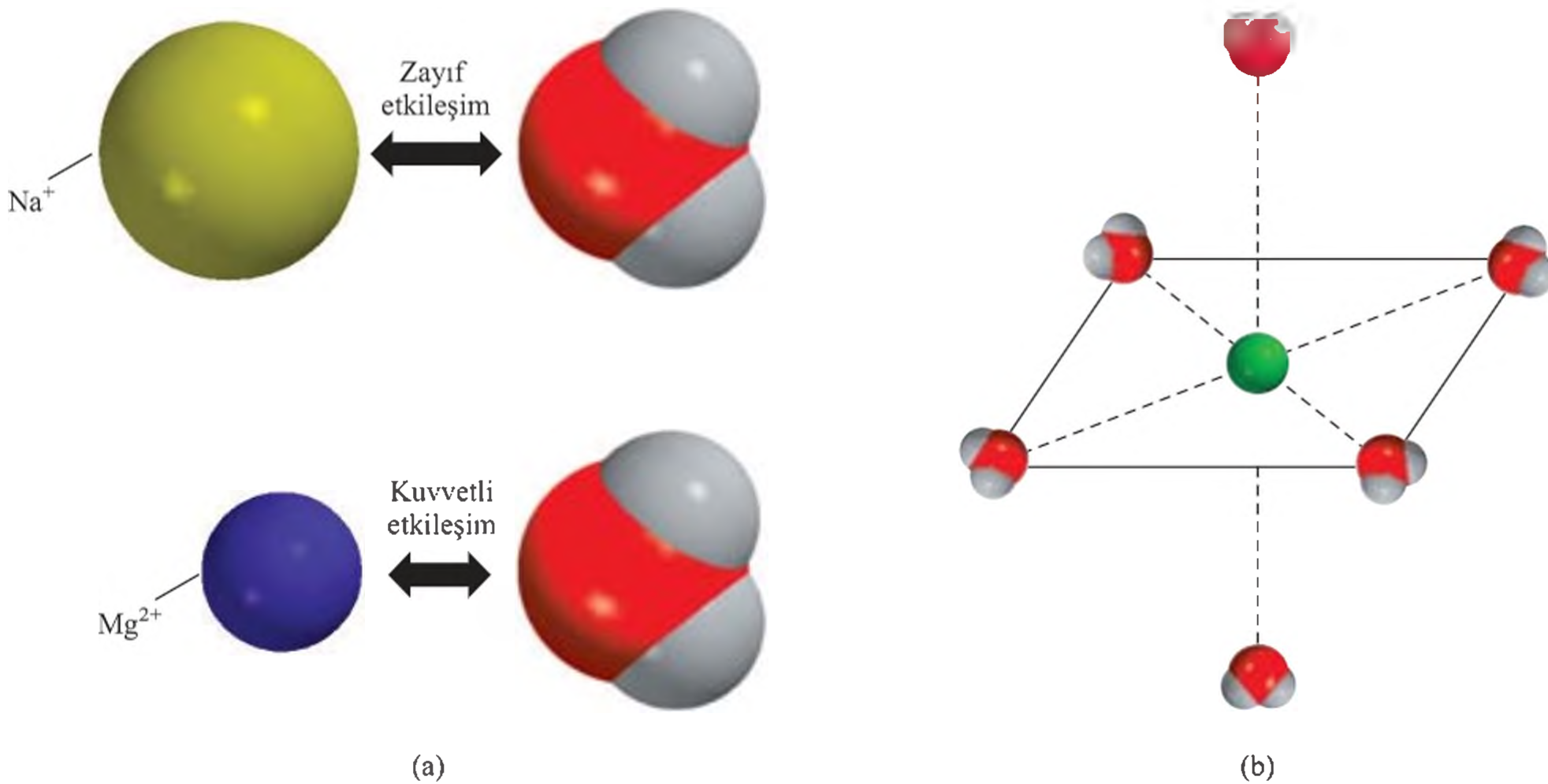
Bir iyon ile (katyon veya anyon) polar bir molekül arasındaki *iyon-dipol çekim kuvvetleri de Coulomb yasası ile açıklanır* (Şekil 11.2). Bu etkileşimin kuvveti, iyonun yükü ve büyüklüğü ile polar molekülün dipol moment ve boyutuna bağlıdır. Katyonlar genellikle anyonlardan daha küçük boyutta olduklarından yük yoğunlukları daha fazladır. Dolayısıyla aynı yüke sahip katyon ve anyonlar kıyaslandığında, katyonlar dipollerle daha kuvvetli etkileşirler.

Kesim 4.1’de incelenen hidratlaşma olayı iyon-dipol etkileşimine iyi bir örnektir. Hidratlaşma ısı (bak. S.262) bir iyonik bileşiğin anyonu ve katyonu ile su arasındaki etkileşimin bir sonucudur. Şekil 11.3’de Na^+ ve Mg^{2+} iyonlarının büyük bir dipol momente sahip olan su molekülü (1,87 D) ile olan etkileşimi görülmektedir. Mg^{2+} iyonunun iyonik yarıçapı (78 pm) Na^+ iyonuna (98 pm) göre daha küçük, iyon yükü ise daha büyük olduğundan, Mg^{2+} iyonunu su molekülleri ile daha kuvvetli bir etkileşime girer (Gerçekte her bir iyon çözeltide belli sayıda su molekülü ile sarılmış haldedir). Bunun bir sonucu olarak, Na^+ ve Mg^{2+} iyonları için olan hidratlaşma enerjileri -405 ve -1926 kJ/mol olarak bulunur¹. Farklı boyutlardaki anyonlar için de benzer etkileşim farklılıkları geçerlidir.

Dağılma Kuvvetleri

Polar olmayan moleküller arasında ne tür çekim kuvvetleri olabilir? Bu sorunun cevabını öğrenmek için Şekil 11.4’e bakalım. Örneğin, bir atomun ya da polar olmayan bir molekülün yanında, bir iyon ya da polar bir molekül yer alsın. Atomun ya da polar olmayan molekülün elektron dağılımı, iyon veya polar molekül tarafından uygulanan kuvvete bağlı olarak bozulur. Bunun sonucunda da farklı bir dipol şekli ortaya çıkar. Polar olmayan molekülde geçici bir dipolleşme olur. Daha önce kutuplu olmayan moleküldeki bu *pozitif ve negatif yüklenme, atomun yakınında bulunan bir iyon veya kutuplu molekülden kaynaklandığından indüklenmiş dipol* (etki ile dipol) olarak bilinir. İyon ile indüklenmiş dipol arasındaki etkileşime, *iyon- indüklenmiş dipol etkileşimi*, polar molekül ile indüklenmiş dipol arasındaki etkileşime de *dipol - indüklenmiş dipol etkileşimi* denir.

¹İyonların ayrı ayrı hidratlaşma ısıları doğrudan ölçülemez ancak yaklaşık bulunabilir.



Şekil 11.3 (a) Su molekülünün Na^+ ve Mg^{2+} ile etkileşimi (b) sulu çözeltide metal iyonlarının etrafı oktahedral bir şekilde altı tane su molekülü ile sarılmış haldedir.

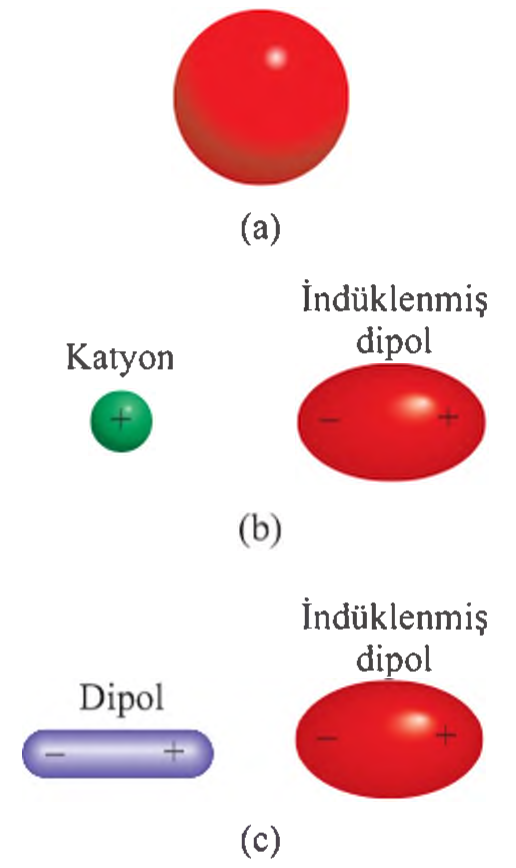
İndüklenmiş dipol momentin oluşumu sadece iyon üzerindeki yük ya da dipolün kuvvetine değil, indüklenecek olan iyon ya da molekülün elektron dağılımının bozulabilme kolaylığına yani *polarizlenebilirlik*'ye de bağlıdır. Genel olarak, atom ya da molekülde elektron sayısı fazla ise ve elektron bulutu dağılmış ise polarizlenebilirliği o kadar yüksektir. *Dağılmış elektron bulutundan* kasıt elektronların çok geniş bir hacme yayılıp çekirdek tarafından sıkı bir şekilde tutulamamasıdır.

Polarizlenebilirlik, atom ya da polar olmayan moleküller içeren gazların (He ve N₂ gibi) yoğunlaşabilmesini sağlar. Örneğin, helyum atomunda elektronlar çekirdekten belli bir uzaklıkta hareket halindedirler ve elektronların konumlarının bozulmasından dolayı bir dipol moment oluşabilir. Bu dipol moment *anlık dipol moment* olup saniyenin çok küçük bir kesrinde meydana gelir. Bir sonraki anlık durumda elektronlar yine farklı konumda meydana gelir ve atom yeni bir anlık momente sahip olur. Bu böyle devam eder. Ancak anlık dipol momentlerin ortalaması, tüm dipol momentler birbirini götürdüğünden, sıfır olur. He atomu topluluğunda tek bir He atomunun sahip olduğu anlık dipol, komşu tüm He atomlarına aktarılır (Şekil 11.5). Bir sonraki anlık oluşumunda He atomları çevresinde geçici dipoller oluşur. Bu tür bir etkileşim, *atom ya da moleküllerdeki geçici indüklenmiş dipollerle ortaya çıkan çekim kuvvetlerini, yani dispersiyon veya dağılma kuvvetlerini* oluşturur. Dağılma kuvvetleri çok düşük sıcaklıklarda (dolayısıyla düşük atomik hızlarda) He atomlarını bir arada tutup, yoğunlaşmasını sağlayacak kadar büyüktür. Polar olmayan başka moleküller arasındaki çekim kuvvetleri de aynı şekilde açıklanabilir.

1930 yılında Alman fizikçi Fritz London¹ geçici dipollere kuantum mekaniksel bir yaklaşım getirdi. London bu çekim kuvvetlerinin doğrudan atomun ya da molekülün polarizlenebilirliğine bağlı olduğunu gösterdi. Bekleneceği gibi dispersiyon (dağılma) kuvvetleri oldukça zayıf kuvvetlerdir. Buna en güzel örnek kaynama noktası 4,2 K (–269°C) olan helyumdur (helyum 1s orbitalinde atom çekirdeği tarafından kuvvetle tutulan iki tane elektrona, dolayısıyla çok düşük polarizlenebilirliğe sahiptir).

London kuvvetleri olarak da bilinen dağılma kuvvetleri genellikle mol kütlesi arttıkça artar. Bunun nedeni mol kütlesi büyük olan moleküllerde elektron sayısı da fazla olduğundan, dağılma kuvvetlerinin de buna bağlı olarak artmasıdır. Ayrıca, mol kütlesinin büyük olması, dış yörünge elektronlarının atom çekirdeği tarafından daha gevşek tutulması, dolayısıyla elektron dağılımının çok daha kolay bir şekilde bozularak polarlanabilirliğin artması anlamına gelir. Çizelge 11.2'de molekül yapıları benzer ve polar olmayan bazı maddelerin erime noktaları karşılaştırılmıştır. Beklendiği gibi, moleküllerdeki elektron sayıları arttıkça erime noktaları da artmaktadır. Çizelgede verilen moleküllerin tamamı polar olmayan molekül olduğundan, moleküller arasındaki tek çekim kuvveti dağılma kuvvetidir.

¹Fritz London (1900-1954) Alman fizikçi. London bir kuramsal fizikçiydi ve çalışmaları esasen sıvı helyumun süper iletkenliği üzerinedir.



Şekil 11.4 (a) Helyum atomunda küresel yük dağılımı (b) Bir kation yaklaşımıyla yük dağılımdaki bozulma (c) Bir dipol yaklaşımıyla yük dağılımdaki bozulma

Kolaylık olsun diye, moleküller arası kuvvetler deyimini hem atomlar hem de moleküller için kullanacağız

Çizelge 11.2

Benzer Yapıdaki Polar Olmayan Bileşiklerin Erime Noktaları

Bileşik	Erime Noktası (°C)
CH ₄	–182,5
CF ₄	–150,0
CCl ₄	–23,0
CBr ₄	90,0
CI ₄	171,0



Şekil 11.5 İndüklenmiş dipollerin birbiriyle etkileşimleri. Bu şekiller anlık olarak meydana gelir ve bir sonraki anlık değişimde başka bir yeni düzenlenme olur. Polar olmayan gazların yoğunlaşmasından bu etkileşimler sorumludur.

Birçok durumda dağılma kuvvetleri, polar moleküller arasındaki dipol-dipol kuvvetleri ile karşılaştırılabilir derecede, hatta bazen daha büyüktür. Konunun daha iyi anlaşılması için polar bir molekül olan CH_3F (k.n. $-78,4^\circ\text{C}$) ile polar olmayan CCl_4 (k.n. $76,5^\circ\text{C}$) bileşiklerinin kaynama noktalarını karşılaştıralım. CH_3F molekülü 1,8 D'lik bir dipol momentine sahip olmasına karşın, polar olmayan CCl_4 'den çok daha düşük sıcaklıklarda kaynamaktadır. CCl_4 'ün daha yüksek sıcaklıklarda kaynamasının basitçe nedeni, daha fazla elektron içermesi. dolayısıyla CCl_4 molekülleri arasındaki dağılma kuvvetlerinin CH_3F molekülleri arasındaki dağılma artı dipol-dipol kuvvetlerinden daha büyük olmasıdır (dağılma kuvvetlerinin nötr ya da yüklü, polar ya da polar olmayan, tüm moleküller arasında mevcut olduğunu hatırlayınız).

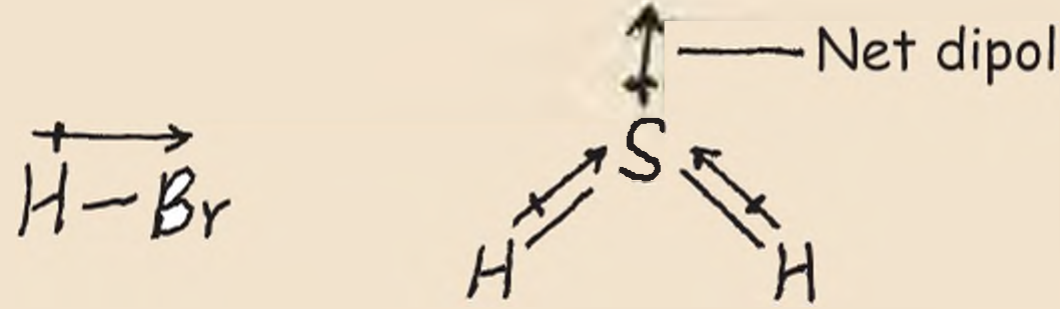
İncelenecek olan türlerin özelliklerini bildiğimizde, bu türler arasındaki etkileşimlerin kolayca belirlenebileceğini Örnek 11.1'de göreceğiz.

Örnek 11.1

Verilen şu türler arasında ne tip moleküller arası kuvvet (ler) mevcuttur? (a) HBr ve H_2S , (b) Cl_2 ve CBr_4 , (c) I_2 ve NO_3^- , (d) NH_3 ve C_6H_6 ?

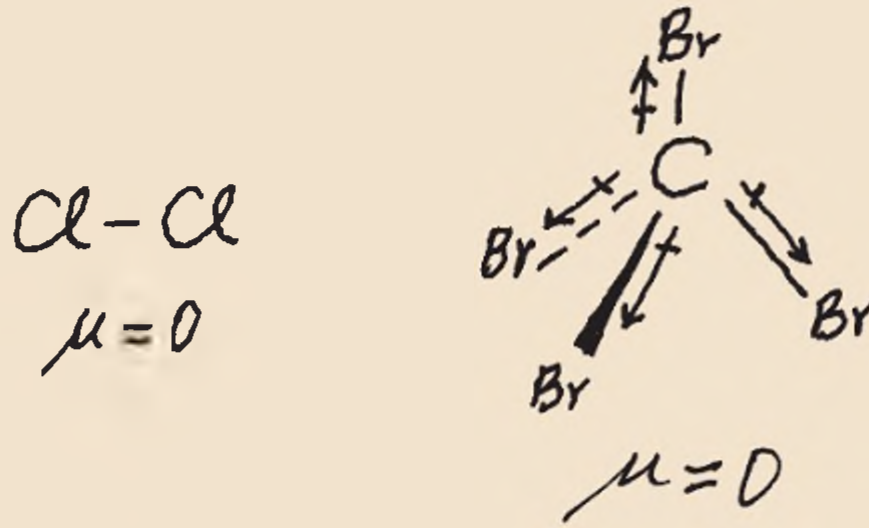
İzlenecek Yol Verilen türleri üç temel sınıfa ayırınız: iyonik, polar (dipol momentine sahip) ve polar olmayan.

Çözüm (a) Hem HBr ve hem de H_2S polar moleküllerdir.



Buna göre, mevcut olan moleküller arasındaki kuvvetler, dispersiyon (dağılma) kuvvetlerinin yanı sıra dipol-dipol kuvvetlerdir.

(b) Hem Cl_2 ve hem de CBr_4 polar değildir ve bu moleküller arasında sadece dağılma kuvvetleri vardır.

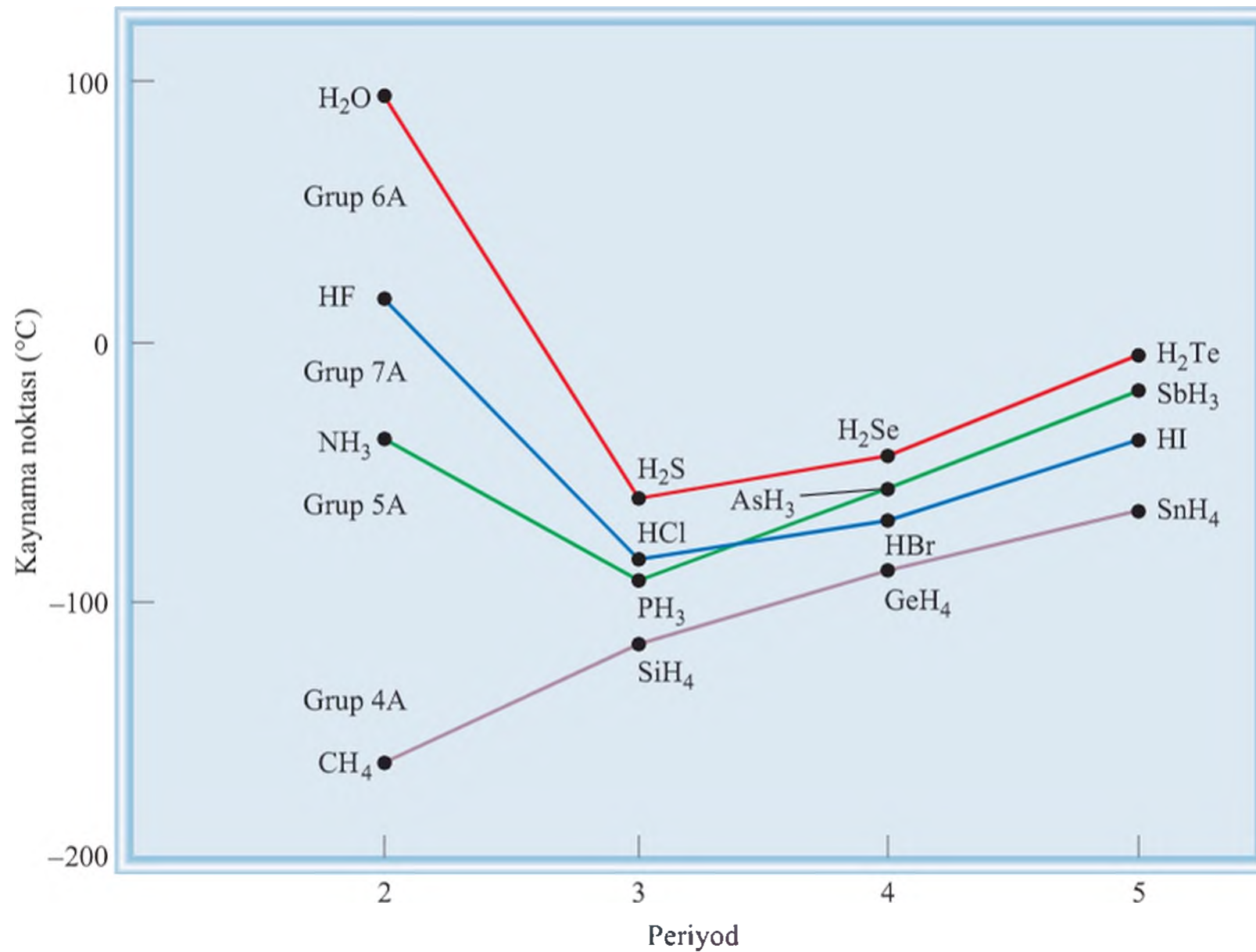


(c) I_2 aynı çekirdekli ve iki atomlu bir moleküldür. I_2 ile NO_3^- iyonu arasındaki kuvvetler iyon-indüklenmiş dipol kuvvetleri ve dağılma kuvvetleridir.

(d) NH_3 polar bir molekül ve C_6H_6 polar olmayan bir moleküldür. Dolayısıyla, aralarındaki kuvvetler, dipol- indüklenmiş dipol kuvvetleri ve dağılma kuvvetleridir.

Benzer problem: 11.10.

Alıştırma Verilen şu moleküller (veya basit birimler) arasında ne tip moleküller arası kuvvet (ler) mevcuttur? (a) LiF , (b) CH_4 , (c) SO_2



Hidrojen Bağı

Normal olarak aynı periyodik gruba ait elementlerin benzer bileşiklerinde kaynama noktaları mol kütlesi ile artar. Kaynama noktasındaki bu artış dağılıma kuvvetlerinin elektron sayısı ile artmasından kaynaklanır. Şekil 11.6’da görüldüğü gibi 4A Grubu elementlerinin hidrojen ile yaptıkları bileşikler yukarıda anlatılan bu düzene uyar. Bunlar arasında en hafif bileşik CH_4 en düşük kaynama noktasına en ağır bileşik SnH_4 ise en yüksek kaynama noktasına sahiptir. Ancak 5A, 6A ve 7A Grubunun hidrojen bileşik-leri bu kurala uymaz. Bu üç grupta, molekül kütleleri en düşük olan hidrojen bileşik-leri (NH_3 , H_2O ve HF) kaynama noktalarının düşük olmaları yönündeki beklentileri-mizin aksine, en yüksek kaynama noktalarına sahiptirler. O halde, NH_3 , H_2O ve HF ’de aynı gruptaki benzer moleküllere kıyasla çok daha kuvvetli moleküller arası kuvvetler etkin olmalıdır. *N—H, O—H ya da F—H gibi polar bir bağdaki hidrojen atomu ile elektronegatifliği oldukça yüksek olan O, N veya F atomu arasındaki, kuvvetli dipol-dipol etkileşimi hidrojen bağı* olarak adlandırılır. Bu etkileşim şöyle gösterilebilir:



Burada A ve B harfleri O, N ya da F gibi elektronegatif bir elementi, A—H bir molekül ya da molekülün bir kısmını, B ise diğer molekülün bir kısmını; noktalı çizgi ise hidrojen bağı göstermektedir. Bu üç atom genellikle çizgisel doğrultuda sıralanmasına rağmen AHB (ya da AHA) açısı çizgisellikten 30° kadar sapma gösterebilir. Gözle görüldüğü gibi O, N ve F atomları hidrojen bağı oluşturmak için hidrojen atomu ile etkileşebilecek en az bir tane valin elektron çifti içermelidir.

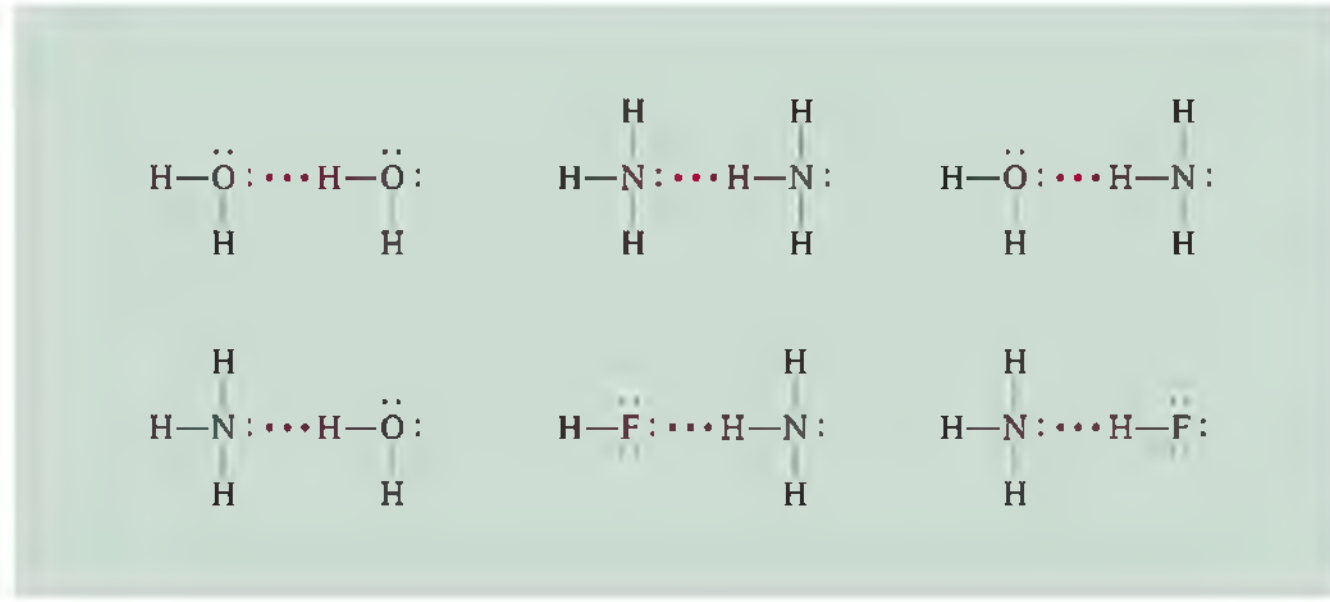
Hidrojen bağının ortalama enerjisi, sıradan bir dipol-dipol etkileşimi için düşü-
nülecek enerjiden çok daha fazladır (40 kJ/mol kadar). Dolayısıyla hidrojen bağı,
birçok bileşiğin yapısı ve özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Şekil 11.7’de
hidrojen bağına ait birkaç örnek verilmiştir.

Hidrojen bağının kuvveti, elektronegatif atomun yalın elektron çifti ile hidrojen çekirdeği arasındaki elektrostatik etkileşimin kuvvetine bağlıdır. Örneğin, flor oksijen-

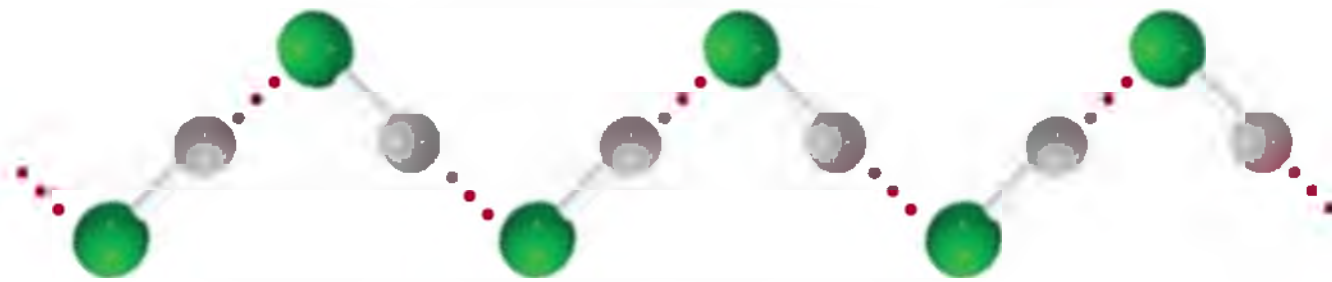
[illegible]

Hidrojen bağlarında rol alan en elektronegatif üç element

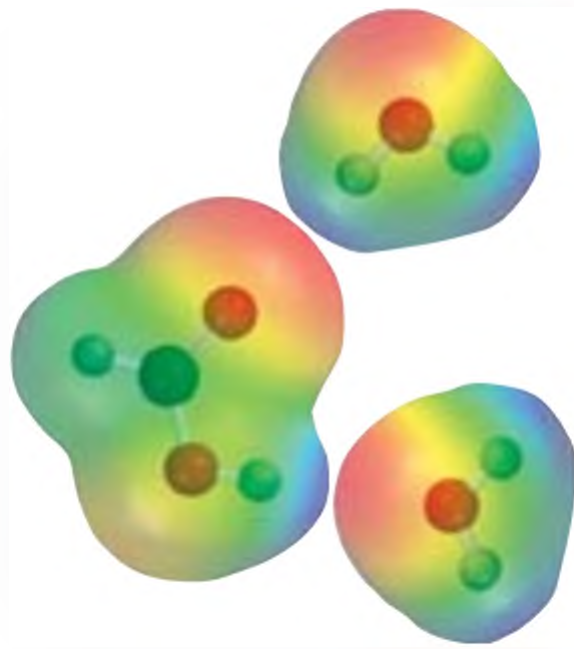
Şekil 11.7 Su, amonyak ve hidrojen florürdeki hidrojen bağları. Düz çizgiler kovalent bağları ve noktali çizgilerde hidrojen bağlarını göstermektedir.



den çok daha elektronegatif olduğundan, HF'deki hidrojen bağının H₂O'dan çok daha kuvvetli olması beklenir. HF moleküllerinin sıvı fazdaki dağılımı zig-zag zincir şeklindedir.



Ancak, beklenenin aksine HF'nin kaynama noktası H₂O'dan daha düşüktür. Bunun nedeni ise, her H₂O molekülünün *dört* tane moleküller arası hidrojen bağında yer almasıdır. Dolayısıyla H₂O moleküllerini bir arada tutan kuvvetler, HF moleküllerini bir arada tutan kuvvetlerden çok daha büyüktür. Suyun bu çok önemli özelliği Kesim 11.3'de tekrar anlatılacaktır. Örnek 11.2'de su ile hidrojen bağları oluşturabilen türler verilmiştir



HCOOH iki tane su molekülü ile hidrojen bağları yapar.

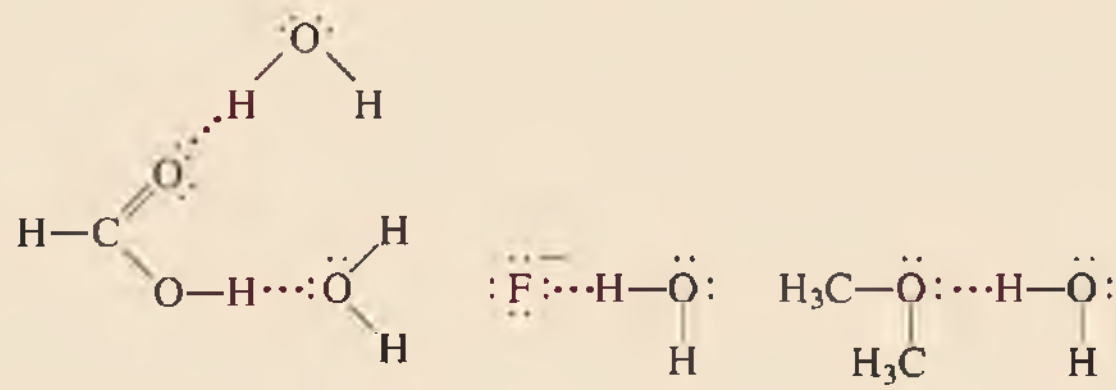
Benzer problem: 11.12.

Örnek 11.2

Aşağıdakilerden hangisi su ile hidrojen bağı yapar? CH₃OCH₃, CH₄, F⁻, HCOOH, Na⁺.

İzlenecek Yol Bir molekülün su ile hidrojen bağı yapması için, üç elektronegatif elementten (F, O veya N) birini içermesi veya bu elementlerle bağ yapmış olan bir H atomuna sahip olması gerekir.

Çözüm CH₄ ve Na⁺ da bu üç elektronegatif elementten (F, O veya N) herhangi biri olmadığından, su ile ancak CH₃OCH₃, F⁻ ve HCOOH hidrojen bağı yapabilir.



Kontrol Görüldüğü gibi HCOOH (formik asit) su ile iki farklı şekilde hidrojen bağı yapar.

Alıştırma Verilenlerden hangileri kendi aralarında hidrojen bağı yapabilirler? (a) H₂S (b) C₆H₆ (c) CH₃OH.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki bileşiklerden hangisi oda sıcaklığında muhtemelen sıvıdır? etan (C_2H_6), hidrazin (N_2H_4), florometan (CH_3F)?

Şu ana kadar incelediğimiz moleküller arası etkileşim kuvvetlerinin tamamını çekim kuvvetlerine dayalı idi. Ancak moleküllerin birbirlerine itme kuvvetleri uyguladığını da unutmamamız gerekir. Moleküller birbirine yaklaştığında elektronlar ve çekirdekler arasındaki itme kuvvetleri etkin olmaya başlar. Bu itme kuvvetleri yoğun fazda, moleküller arası mesafe azaldıkça önemli bir artış gösterir. Bu nedenle, sıvı ve katıların sıkıştırılması son derece zordur. Katı ve sıvı fazlarda moleküller zaten birbirleri ile yakın temasta olduklarından, daha fazla sıkıştırılmaya karşı büyük bir direnç gösterirler.

11.3 Sıvıların Özellikleri

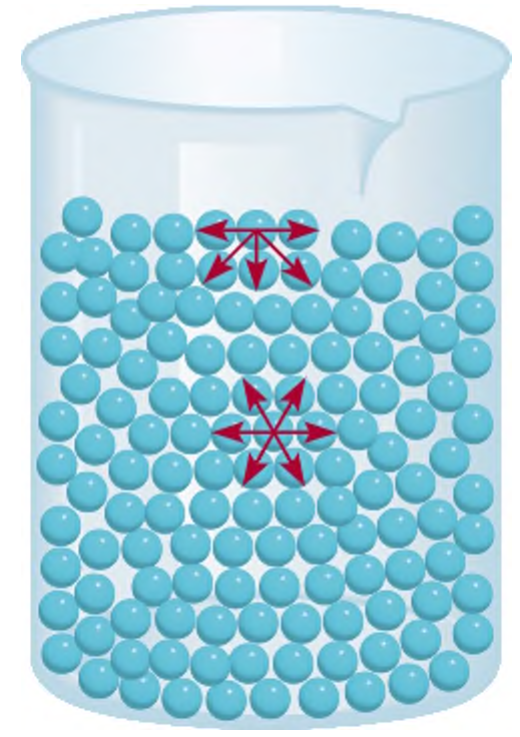
Moleküller arası kuvvetler sıvılara çok sayıda özellikler kazandırır. Bu kesimde bunlardan iki tanesi üzerinde duracağız. Yüzey gerilimi ve viskozite. Daha sonra suyun yapısı ve özelliklerine geçeceğiz.

Yüzey Gerilimi

Sıvı içindeki moleküller, moleküller arası kuvvetler tarafından tüm yönlerde doğru eşit olarak çekilirler. Ancak yüzeyde bulunan moleküller diğer moleküller tarafından aşağı ve yana doğru çekilirken, yukarı yöne bir çekim kuvveti yoktur (Şekil 11.8). Bu durumda sıvı yüzeyindeki moleküller sıvının içine doğru çekilir ve yüzey bir elastik zar gibi büzülür. Su moleküllerinin polar olduğunu biliyoruz. Örneğin yeni cilalanmış bir araba üzerine su döküldüğünde, su ile polar olmayan cila molekülleri arasında hemen hemen hiç çekim kuvveti olmadığından, su molekülleri araba yüzeyinde ufak bir bilye şekli alır. Bunun nedeni küre halindeki sıvının yüzey alanını küçültmesidir. Bir elmanın cilalı yüzeyindeki su damlalarında da aynı etki gözlenmektedir (Şekil 11.9).

Bir sıvının yüzeyindeki esnek kuvvetin ölçüsü yüzey gerilimidir. Başka bir deyişle **yüzey gerilimi** sıvının yüzeyini bir birim alan (örneğin $1cm^2$) genişletmek için gereken enerji miktarıdır. Moleküller arası kuvvetleri büyük olan sıvılar aynı zamanda büyük yüzey gerilimine de sahiptir. Buna göre, hidrojen bağlarından dolayı, su diğer birçok sıvıdan daha yüksek yüzey gerilimine sahiptir.

Yüzey gerilimine bir başka örnek ise *kapiler* (kılcalılık) etkisidir. Şekil 11.10 (a)'da suyun kılcal bir tüp içinde nasıl kendiliğinden yükseldiği görülmektedir. Burada cam yüzeyine önce ince bir su filmi yapışmaktadır. Suyun yüzey geriliminden dolayı bu film büzülür ve suyu yukarıya doğru çeker. Kılcal etki iki farklı kuvvetin sonucudur. Bunlardan ilki benzer moleküller (burada su molekülleri) arasındaki çekim kuvvetleri olarak bilinen **kohezyondur**. İkinci etkin kuvvet ise, su ve kılcal cam tüpün duvarları arasında olduğu gibi, farklı moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinden meydana gelen **adhezyondur**. Şekil 11.10 (a)'da görüldüğü gibi adhezyon kuvvetleri kohezyondan daha güçlü ise tüpün içindeki su yukarıya doğru çekilir. Kapiler etki ile sıvının yükselmesi, adhezyon kuvvetlerin tüp içindeki suyun ağırlığı tarafından dengeleninceye kadar devam eder. Bu etki Şekil 11.10 (b)'de görüldüğü gibi tüm sıvılar için geçerli değildir. Örneğin, cıvada kendi atomları arasındaki çekim kuvvetleri yani kohezyon, cıva ile cam arasında olan adhezyon kuvvetlerinden daha güçlüdür. Dolayısıyla cıvaya kılcal bir tüp daldırılınca, kılcal tüpteki cıva seviyesi alçalır, yani tüp içindeki cıva seviyesi kaptaki cıva yüzeyinin altında olur.



Şekil 11.8 Bir sıvının yüzeyinde ve iç kısmında bulunan bir moleküle etki eden moleküller arası kuvvetler.

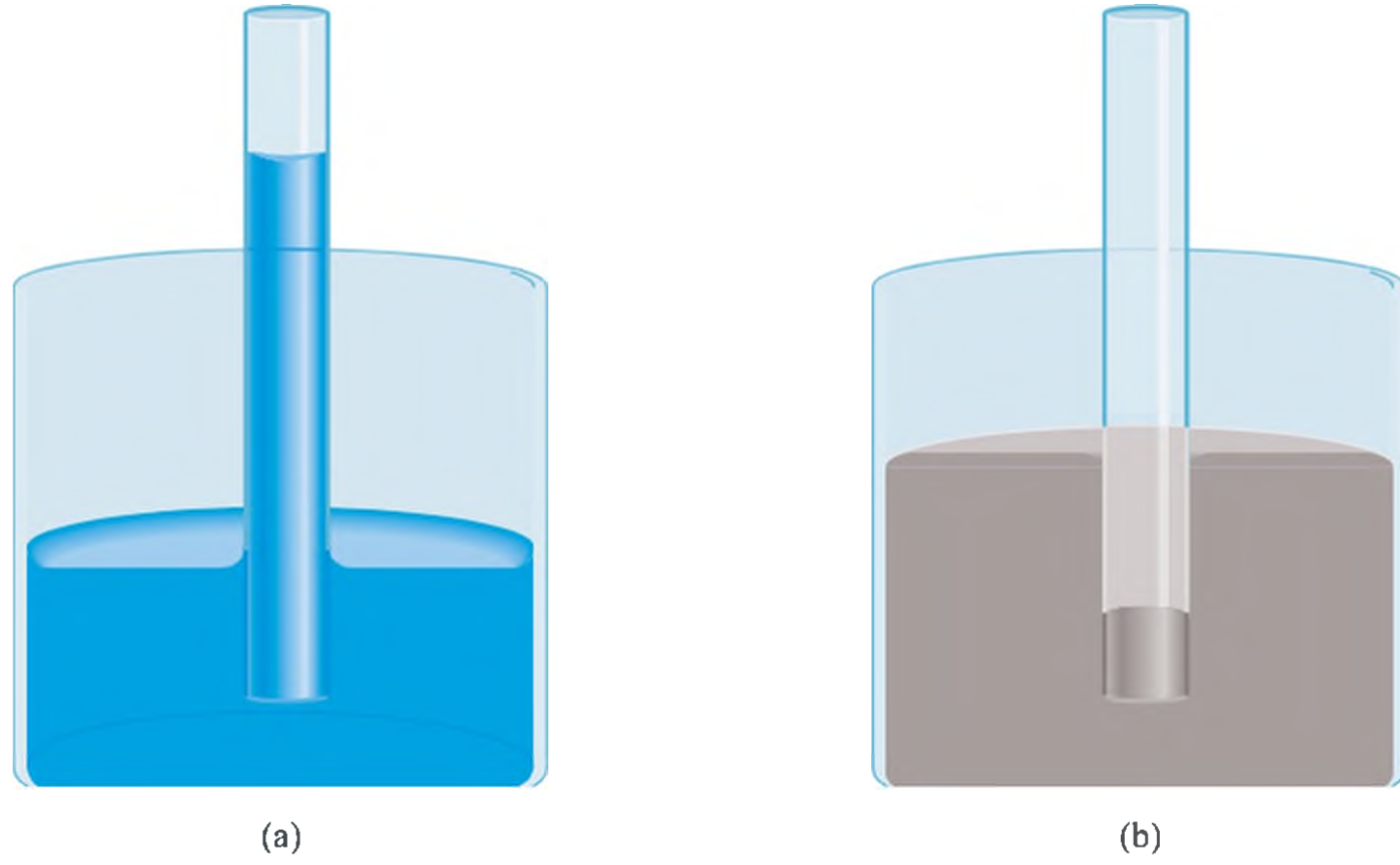


Yüzey gerilimi su piresinin suda "yürmesini" sağlar.



Şekil 11.9 Elmanın cilalı yüzeyinde meydana gelen su damlacıkları.

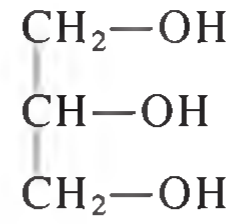
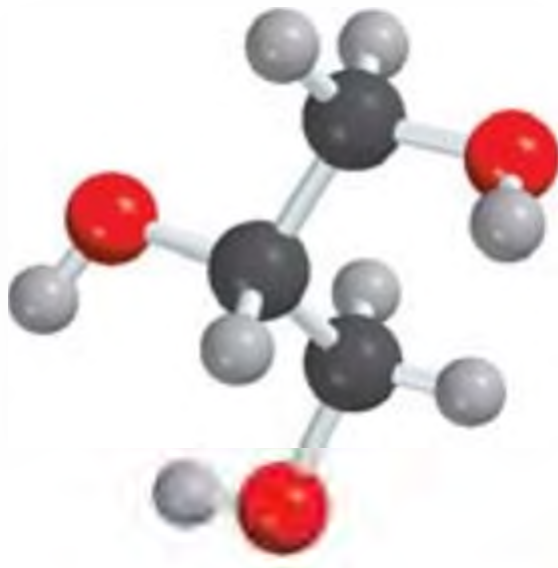
Şekil 11.10 (a) Adezyon kuvveti kohezyondan büyük ise sıvı (örneğin su) kılcal boru boyunca yükselir (b) Eğer cıvada olduğu gibi kohezyon adezyondan büyükse, sıvı kılcal boru boyunca alçalır. Kılcal burudaki suyun içbükey yani içe doğru, cıvanın ise dışbükey yani dışa doğru olduğuna dikkat ediniz.



Viskozite

“Ocak ayındaki pekmez kadar yavaş” deyimini sıvıların akışkanlıklarıyla ilgili, viskozite denilen önemli bir fiziksel özelliğine dayanır. **Viskozite** sıvıların akışkanlığa karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsüdür. Yani, bir sıvının viskozitesi ne kadar büyükse o derece yavaş akar. Ayrıca sıvıların viskozitesi genelde sıcaklık ile azalır, yani akışkanlığı artar. Dolayısıyla yukarıdaki deyim doğrulanmış olur ve sıcak pekmez soğuk pekmezden çok daha hızlı akar.

Moleküller arası kuvvetleri büyük olan sıvılar, küçük olan sıvılara göre daha yüksek viskoziteye sahiptirler (Çizelge 11.3). Örneğin, su güçlü hidrojen bağı yapabildiğinden moleküller arası çekim kuvvetleri de büyüktür ve birçok sıvıdan daha yüksek viskoziteye sahiptir. Gliserinin viskozitesinin Çizelge 11.3’de verilen sıvılardan önemli derecede daha büyük olması dikkat çekicidir. Bunun nedenini açıklamadan önce gliserin yapısına bir göz atalım. Gliserinin yapısı



şeklinde olup gliserin molekülleri de aynen suda olduğu gibi hidrojen bağları yaparlar. Gliserindeki hidrojen bağları sudan çok daha güçlüdür. Bunun nedeni her gliserin

Gliserin renksiz, kokusuz, şuruba benzeyen bir sıvı olup patlayıcı, mürekkep ve yağlandırıcı yapmakta kullanılır.

Çizelge 11.3

Çok Bilinen Bazı Sıvıların 20°C’deki Viskozite Değerleri

Sıvı	Viskozite (N s/m ²)*
Aseton (C ₃ H ₆ O)	3,16 × 10 ⁻⁴
Benzen (C ₆ H ₆)	6,25 × 10 ⁻⁴
Kan	4 × 10 ⁻³
Karbon tetraklorür (CCl ₄)	9,69 × 10 ⁻⁴
Dietil eter (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	2,33 × 10 ⁻⁴
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	1,20 × 10 ⁻³
Gliserol (C ₃ H ₈ O ₃)	1,49
Cıva (Hg)	1,55 × 10 ⁻³
Su (H ₂ O)	1,01 × 10 ⁻³

*Viskozite için olan SI birimi N s/m²

moleküllerinin diğeri ile hidrojen bağları yapabilecek üç tane —OH grubu içermesidir. Ayrıca, molekül yapısından dolayı gliserin molekülleri, viskoziteleri az olan sıvılarda olduğu gibi, birbiri üzerinde kaymak yerine birbiri içine girme eğilimindedirler. Bu etkileşimlerin tamamı viskozitenin büyüklüğünde belirleyici rol oynar.

Kavramların Değerlendirilmesi

Motorlu araç kullananlara, motorlarında neden yazın daha çok viskoz yağ kullanmaları, kışın ise daha az viskoz yağ kullanmaları tavsiye edilir?

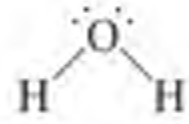
Suyun Yapısı ve Özellikleri

Yeryüzünde su bizim için o kadar bilinen bir maddedir ki, çoğu zaman onun kendine has özelliklerini görmezlikten geliriz. Su birçok iyonik bileşiğin yanı sıra, kendisi ile hidrojen bağı yapabilen çoğu madde için mükemmel bir çözücüdür.

Daha önce Çizelge 6.2’de verildiği gibi su, oldukça yüksek bir öz ısıya sahiptir. Bunun nedeni suyun sıcaklığını artırmak, yani, moleküllerinin ortalama kinetik enerjisini artırmak için çok sayıda moleküller arası hidrojen bağının kırılması zorunluluğudur. Bu nedenle ısıtma ile suyun sıcaklığı çok az artarken, büyük oranda ısı soğurabilir. Bunun terside doğrudur, yani suyun sıcaklığı çok az düşmesine rağmen büyük oranda ısı salabilir. Göl ve denizlerde bulunan büyük su kütleleri yazın ısı soğurmak, kışın ısı salmak suretiyle kendi sıcaklığında önemli bir değişim olmadan, çevre iklimi üzerinde düzenleyici bir etki yaparlar.

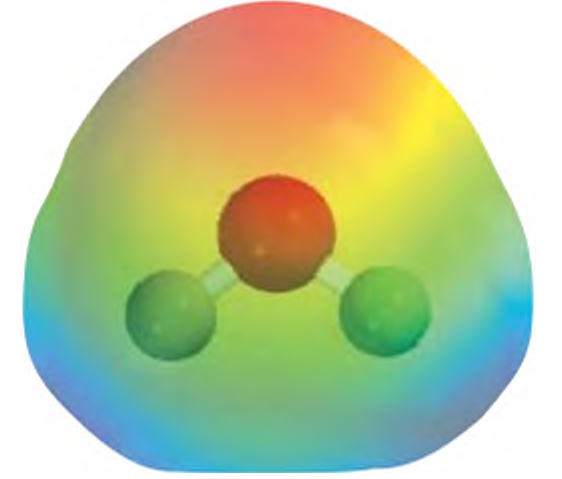
Suyun en çarpıcı özelliklerinden birisi de katı halinin (buz) yoğunluğunun sıvı halinden daha az olmasıdır. Bu nedenle buz su üstünde yüzer. Su haricinde neredeyse diğer tüm maddelerin katı halleri sıvı hallerinden daha yoğundur (Şekil 11.11).

Suyun neden bu kadar farklı olduğunu anlamak için H_2O molekülünün elektronik yapısını incelememiz gerekir. Bölüm 9’da gördüğümüz gibi su molekülünün oksijen atomu üzerinde iki tane bağ yapmamış ya da yalın elektron çifti bulunmaktadır.



Birçok bileşik moleküller arası hidrojen bağı yapmakla birlikte, sudaki hidrojen bağları bunlardan farklıdır. Hidrojen bağı yapabilen H_2O ve diğer polar moleküller (NH_3 , HF gibi) arasındaki fark suyun oksijen atomları üzerinde bağ yapmamış iki elektron çifti olması, yani her oksijen atomunun *iki* tane hidrojen bağı yapılabilmesidir. Su molekülündeki oksijen, iki kovalent ve iki hidrojen bağı yaparak, üç boyutlu düzgün dört-

Eğer suyun hidrojen bağı yapma kapasitesi olmasaydı, oda sıcaklığında su buhar halinde bulunurdu.

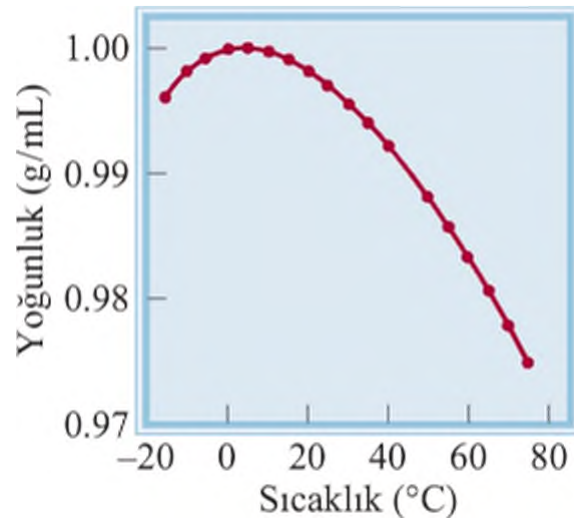
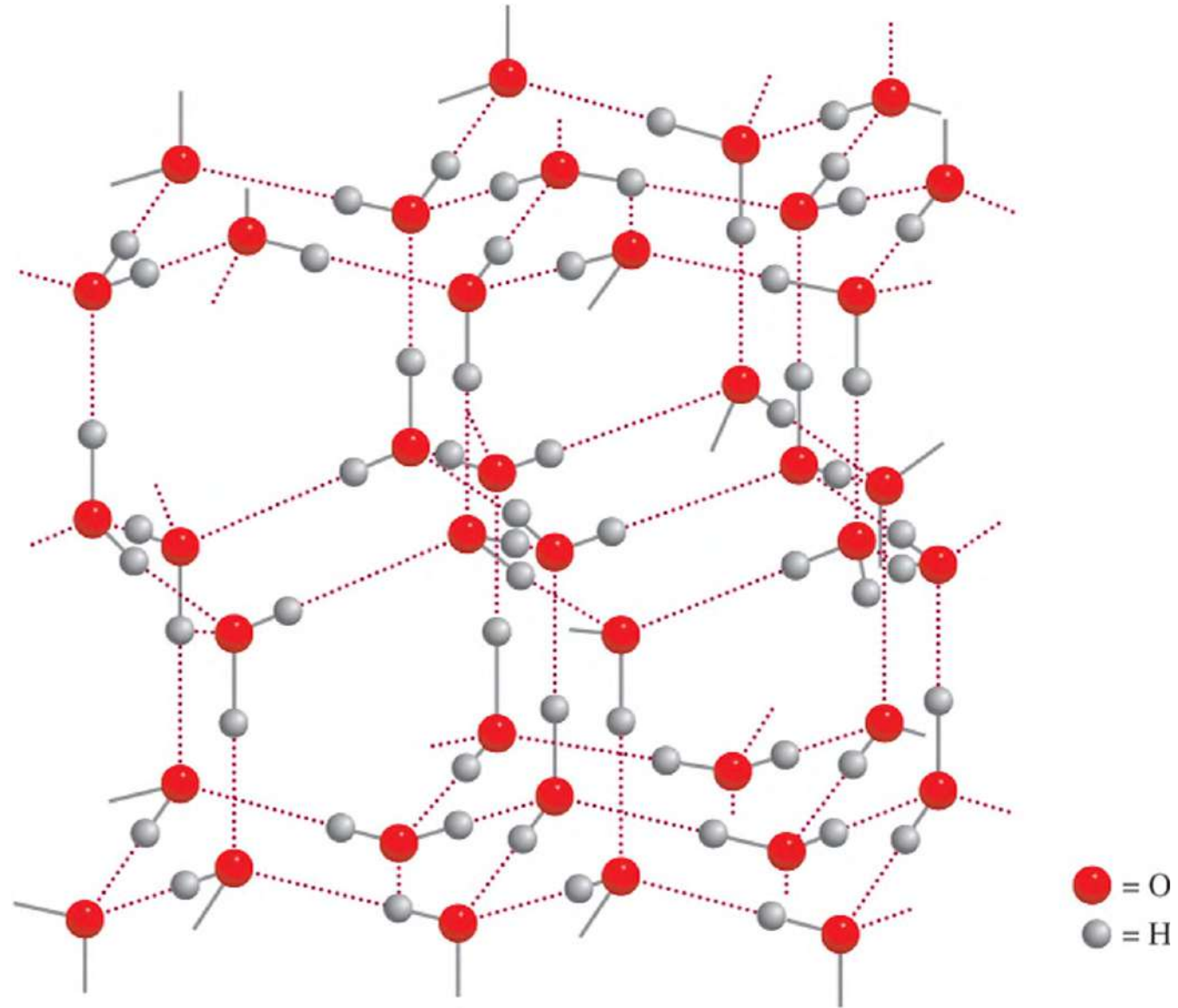


Suyun elektrostatik potansiyel haritası



Şekil 11.11 Solda buz kütelleri sıvı suyun üzerinde yüzerken sağda katı benzen saf sıvı benzen içinde dibe batar.

Şekil 11.12 Buzun üç boyutlu yapısı. Her oksijen atomu dört tane H atomuna bağlıdır. Koyu çizgiler kovalent bağları, noktali çizgiler de hidrojen bağlarını göstermektedir.



Şekil 11.13 Sıvı suyun yoğunluğunun sıcaklık ile değişimi. Suyun maksimum yoğunluğu 4°C'dedir. 0°C'daki buzun yoğunluğu yaklaşık 0,92 g/cm³'dür.

üzümlü ağ yapısı oluşturur. NH₃, HF ya da hidrojen bağı yapabilen başka hiçbir molekülde, hidrojen bağı sayısı ile bağ yapmamış elektron çifti sayısı birbirine eşit değildir. Dolayısıyla diğer moleküller ancak halka veya zincir yapısı oluşturabilirken, su üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur.

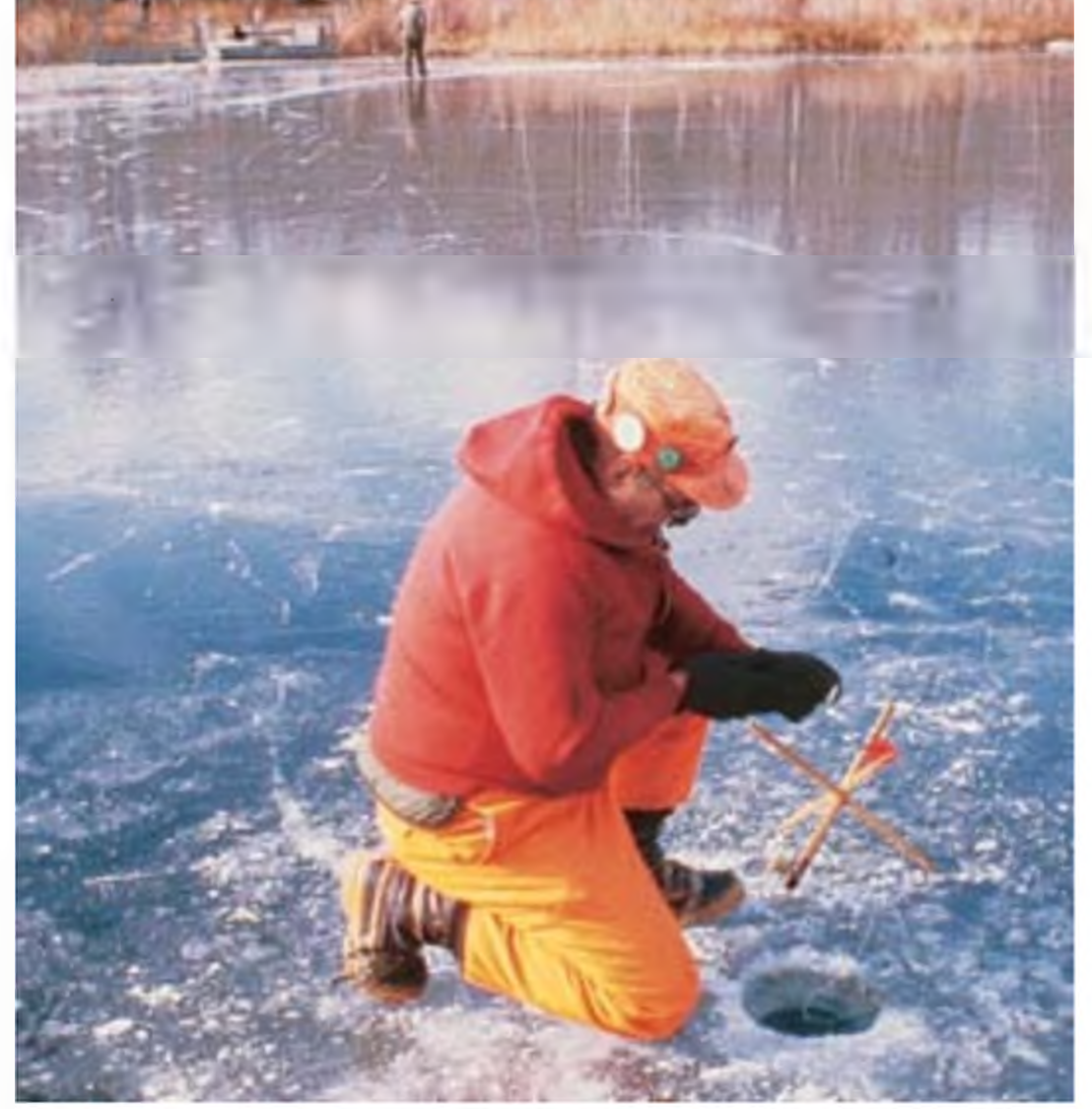
Buzun bu son derece düzgün üç boyutlu yapısı (Şekil 11.12) moleküllerin birbirlerine çok fazla yaklaşmasını önler. Şimdi de buzun erimesi durumunda ne olacağını inceleyelim. Buzun erime noktasında, moleküller arası hidrojen bağlarını kırabilecek kadar yüksek kinetik enerjiye sahip çok sayıda su molekülü vardır. Bu moleküller üç boyutlu yapının boşlukları arasında sıkışır ve yapı ufak kümeler halinde kırılır. Sonuç olarak, suyun birim hacmindeki molekül sayısı buzdan fazladır. Yoğunluk, kütle hacme oranı olduğundan, suyun yoğunluğu buzun yoğunluğundan daha fazladır. Isıtmaya devam edildikçe moleküllerarası hidrojen bağlarından daha fazla su molekülü kurtularak serbest kalır ve suyun yoğunluğu erime noktasının biraz üstüne kadar artmaya devam eder. Buradan sonra, daha fazla ısıtıldıkça su genişlemeye başlar ve yoğunluğu azalır. Bu iki süreç, yani serbest su moleküllerinin ağ yapısındaki ara boşluklara sıkışması ve ısı genleşme birbirine zıt yönde işler. 0°C ile 4°C arasında su moleküllerinin sıkışması artar ve gittikçe daha yoğun hale gelir. Ancak 4°C'den sonra ısı genleşme baskın çıkar ve suyun yoğunluğu sıcaklık arttıkça azalır (Şekil 11.13).

11.4 Kristal Yapı

Katılar iki sınıfa ayrılabilir: Kristal ve amorf. Örneğin, buz bir **kristal katı**dır. *Kristal katılarda atomlar, moleküller ya da iyonlar sabit konumda kararlı ve düzenli bir yapıya sahiptirler.* Kristal katılarda atomlar, moleküller ya da iyonların düzeni moleküller arası çekim kuvvetlerinin maksimum olmasıyla sağlanır. Herhangi bir yapıdaki kristal kararlılığı iyonik kuvvetler, kovalent bağlar, van der Waals kuvvetleri, hidrojen bağları ya da bunların birleşimi ile sağlanır. Camda olduğu gibi, *amorf katılarda* düzenli bir yapı ve uzun zincirli molekül düzenlenmesi mevcut değildir. Bunları Kesim 11.7'de göreceğiz. Bu bölümde ise kristal katıların yapıları üzerinde duracağız.

Göller neden yukarıdan aşağıya doğru donar?

Buzun sıvı sudan daha az yoğun olması ekolojik açıdan muazzam bir öneme sahiptir. Örneğin soğuk bir havada bir göldeki tatlı suyun sıcaklık değişimine bakalım. Gölün yüzeyinin yakınındaki sıcaklık düştükçe, suyun yoğunluğu artar. Bu durumda soğuk su gölün dibine batarken daha az yoğun olan ılık su ise yüzeye çıkar. Bu normal konveksiyon suyun sıcaklığı 4°C olana kadar devam eder ve bu sıcaklığın altında suyun yoğunluğu azalmaya başlar (bak Şekil 11.13), artık gölün dibine batmaz. Eğer daha fazla soğutulursa su yüzeyden donmaya başlar. Buz, sudan daha az yoğun olduğundan, oluşan buz batmaz ve hatta alttaki su için termal bir yalıtıcı işlevi görür. Eğer buz daha ağır olsaydı suyun dibine batardı ve sudaki canlıların çoğu da buz içinde ölürdü. Neyse ki su tabandan yukarı doğru donmamaktadır. Suyun sıra dışı olan bu özelliği sayesinde, kışın buzla örtülmüş gölde balık tutmak mümkün olur.



Buz balıkçılığı. Yüzeydeki buz tabakası alttaki su için bir yalıtım tabakası oluşturur ve sudaki hayatın devam etmesine yetecek kadar yüksek bir sıcaklık sağlar.

Kristal katılarda tekrarlanan yapısal birimlere **birim hücre** adı verilir. Şekil 11.14'de birim hücre ve bu hücrenin üç boyutta genişlemesi görülmektedir. Atom, molekül ya da iyon karşılık gelen her bir siyah nokta **örgü noktası** olarak bilinir. Çoğu kristalde örgü noktası gerçekte atom, molekül ya da iyon içermez. Bunun yerine, örgü noktasına birkaç tane atom, iyon ya da molekül uygun bir düzen içinde yerleşmiştir. Anlamayı kolaylaştırmak için, her örgü noktasının bir atom tarafından işgal edildiğini kabul edeceğiz. Bütün kristal katılar Şekil 11.15'de gösterilen yedi çeşit birim hücreden biriyle gösterilir. Kübik hücrenin geometrisi küpün bütün kenarları ve açıları eşit olduğundan oldukça basittir. Herhangi bir birim hücre üç boyutlu olarak uzayda arka arkaya tekrarlanırsa kristal katıya özgü bir örgü yapısı ortaya çıkar.

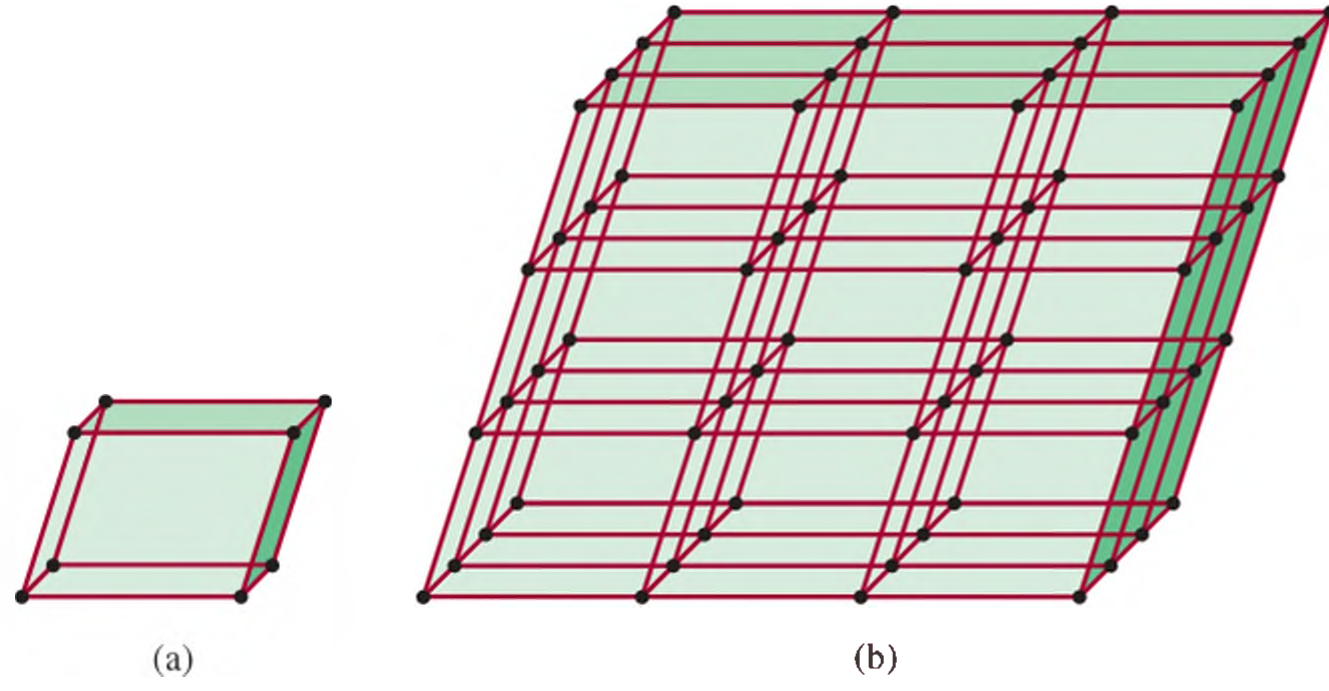
Kürelerin İstiflenmesi

Kristal oluşumunun geometrik görünümünü anlamak için, benzer kürelerin (örneğin tenis toplarının) üç boyutlu düzende kaç şekilde istiflenebileceğini inceleyelim. Birim hücrenin hangi tip olduğunu, kürelerin tabakalar halinde dizilme şekilleri belirler.

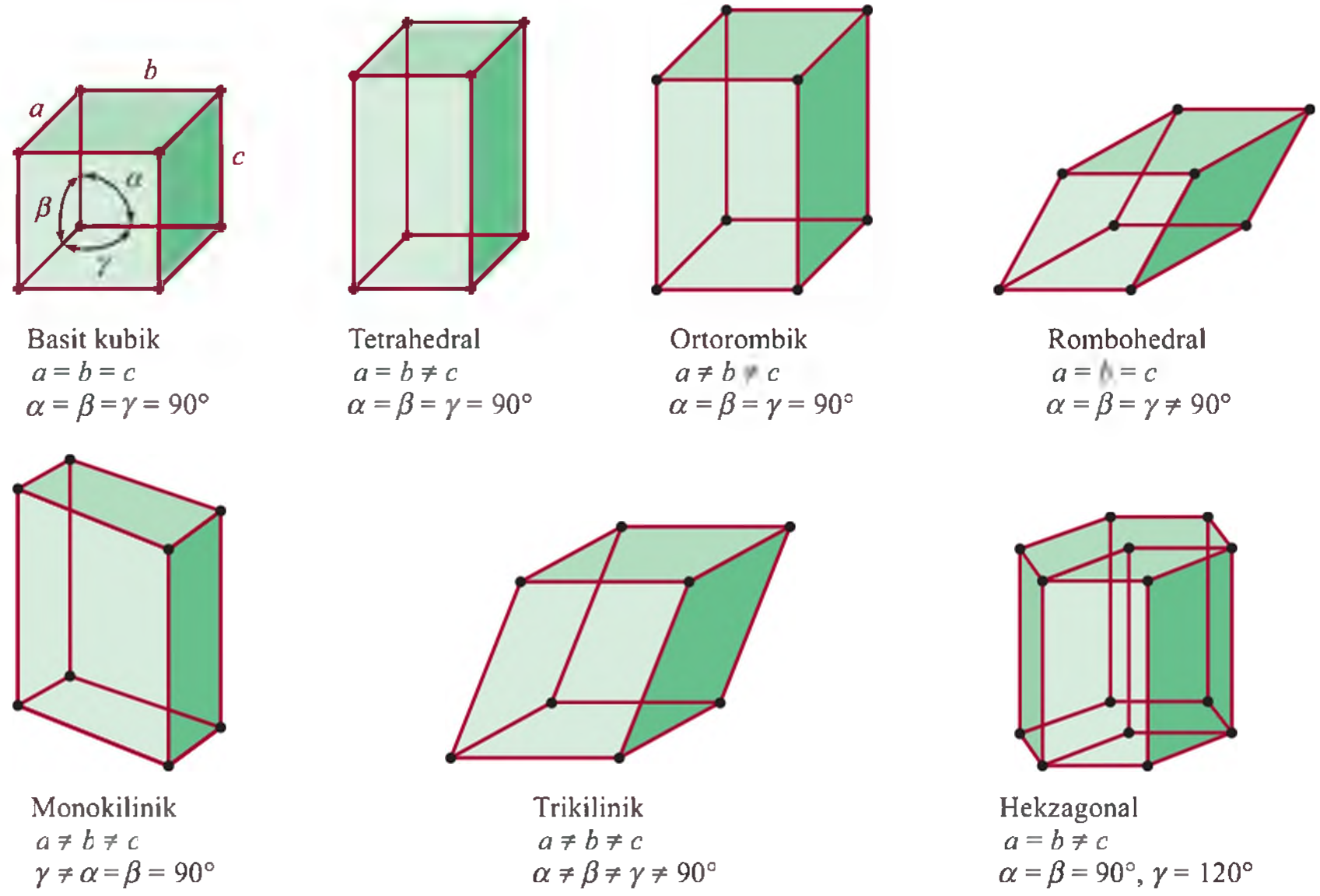
Animasyon
Kübik birim hücreler ve kökenleri

Animasyon
Kürelerin istiflenmesi

Şekil 11.14 (a) Bir birim hücre (b) birim hücrenin üç boyutta genişmesi. Buradaki siyah küreler bir molekülü veya bir atomu göstermektedir.

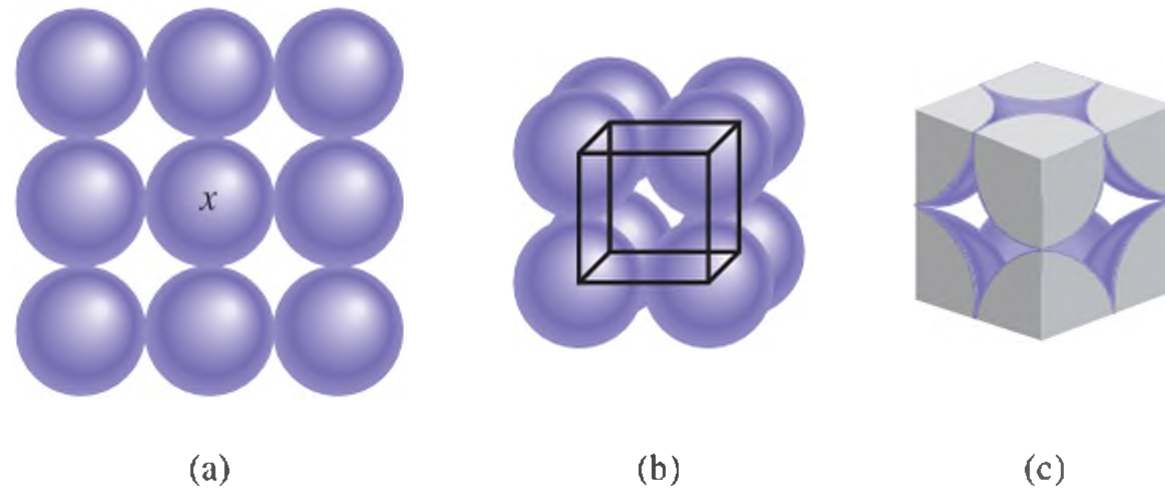


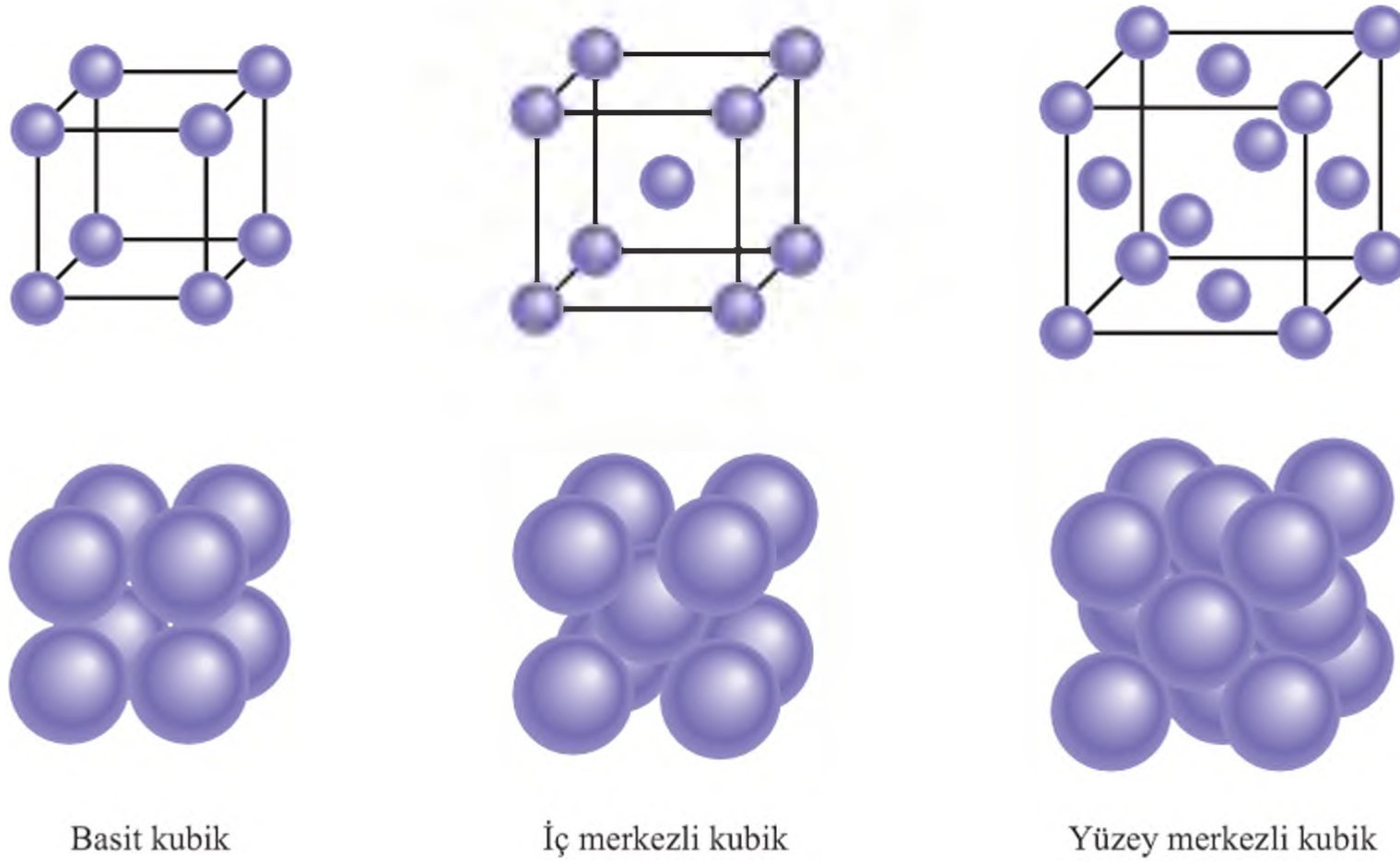
Şekil 11.15 Yedi tip birim hücre. α açısı b ve c, β açısı a ve c ve γ açısı a ve b kenarlar tarafından oluşturulur.



Küreler en basit şekliyle Şekil 11.16 (a)'daki gibi istiflenebilir. Şekilde görülen her küre tabakasının alt ve üstü aynı düzende istiflendiğinde, üç boyutlu düzenli bir yapı elde edilir. Bu işlem defalarca tekrarlanarak, üç boyutlu kristal yapılarda olduğu gibi, çok sayıda tabaka ihtiva edecek şekilde genişletilebilir. Şekilde x olarak işaretlenmiş olan küre üzerinde odaklanırsak, bu kürenin kendi tabakasındaki dört küre ile temas halinde olduğunu görürüz. Bu düzenlemedeki her kürenin 6 tane komşusu oldu-

Şekil 11.16 Benzer kürelerin basit bir kübik hücreye dizilişleri. (a) Bir tabaka küreye tepeden bakış. (b) Basit kübik hücrenin tanımı. (c) Her küre sekiz tane komşu birim hücre tarafından paylaşıldığından ve küpün sekiz köşesi olduğundan, her birim kübik hücrede net olarak bir tane küre bulunur.



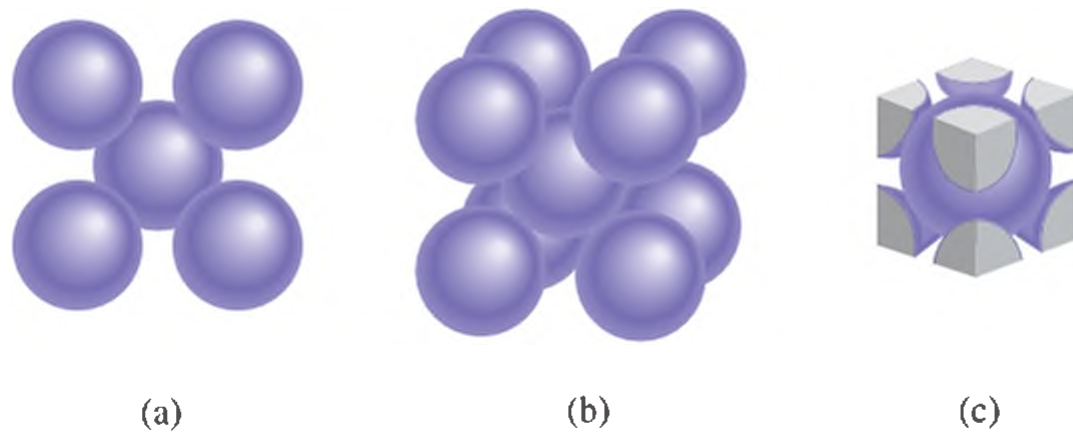


Şekil 11.17 Üç çeşit kubik hücre. Gerçekte, molekülleri veya atomları temsil eden bu küreler, kubik hücrelerde birbiri ile temas halindedir.

ğundan, koordinasyon sayısı altıdır. Koordinasyon sayısı, kristal örgü yapısındaki bir atomu (veya iyonu) çevreleyen, atom (veya iyon) sayısı olarak tanımlanır. Kürelerin yukarıda belirtilen yapıdaki tekrarlanan en küçük birimine, basit kübik hücre (bk) denir [Şekil 11.16 (b)].

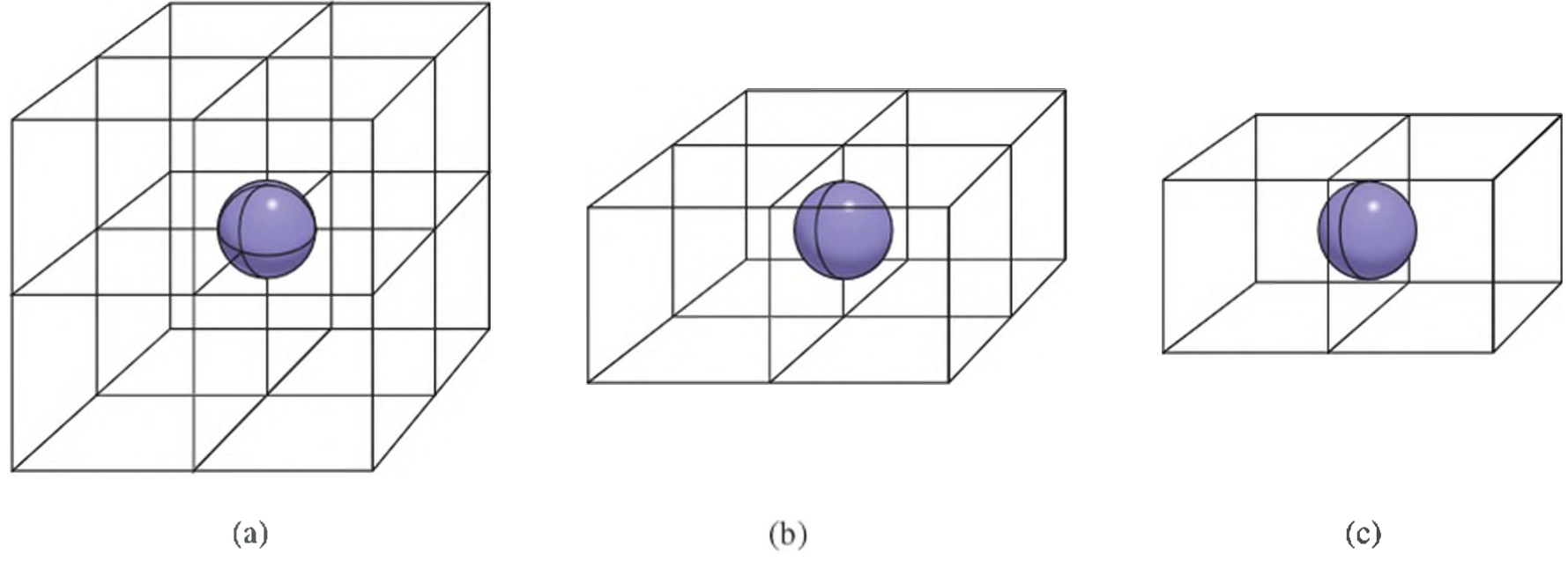
Diğer kübik hücre tipleri, iç merkezli kübik (imk) ve yüzey merkezli kübik hücrelerdir (ymk), (Şekil 11.17). İç merkezli kübik yapının basit kübik yapıdan farkı, ikinci tabakadaki kürelerin birinci tabakanın boşluklarına, üçüncü tabakadaki kürelerin ise ikinci tabakanın boşluklarına yerleşmesidir (Şekil 11.18). Bu yapıda (imk) her kürenin koordinasyon sayısı 8'dir (her küre alttaki ve üstteki tabakanın dört küresi ile temas halindedir). Yüzey merkezli kübik yapıda ise, küpün sekiz köşesindeki birer küreye ilave olarak, altı yüzünün merkezinde de birer tane küre bulunur.

Bir kristal katıda her birim hücre başka bir birim hücreye komşu olduğundan, birim hücrenin atomlarından çoğu diğer hücreler tarafından da paylaşılır. Örneğin, bütün kübik hücrelerde kenarlarda bulunan köşe atomları, sekiz tane birim hücreye aittir [Şekil 11.19 (a)]. Bir kenar atomu dört birim hücre tarafından paylaşılır [Şekil 11.19 (b)]. Buna karşın, yüzey merkezli atomlar iki birim hücre tarafından paylaşılır [Şekil 11.19 (c)]. Köşelerde bulunan her küre, sekiz birim hücre tarafından paylaşıldığı ve bir küpte de sekiz tane köşe bulunduğu için, herhangi bir basit kübik hücrede net olarak bir küre mevcuttur (Şekil 11.19). İç merkezli kübik hücrede, biri küpün merkezinden diğeri de sekiz köşesinden gelmek üzere net olarak iki küre bulunur. Yüzey merkezli kübik hücre ise, üçü yüzeylerin merkezlerinden (küpteki yüzey atomunun $\frac{1}{2}$ 'si) biri de sekiz köşesinden gelmek üzere dört net küre içerir.



Şekil 11.18 Kürelerin iç merkezli bir kübe yerleşmeleri (a) Tepeden bakış (b) iç merkezli kübik birim hücrenin tanımı (c) bir iç merkezli birim hücrede net iki tane tam kürenin bulunması.

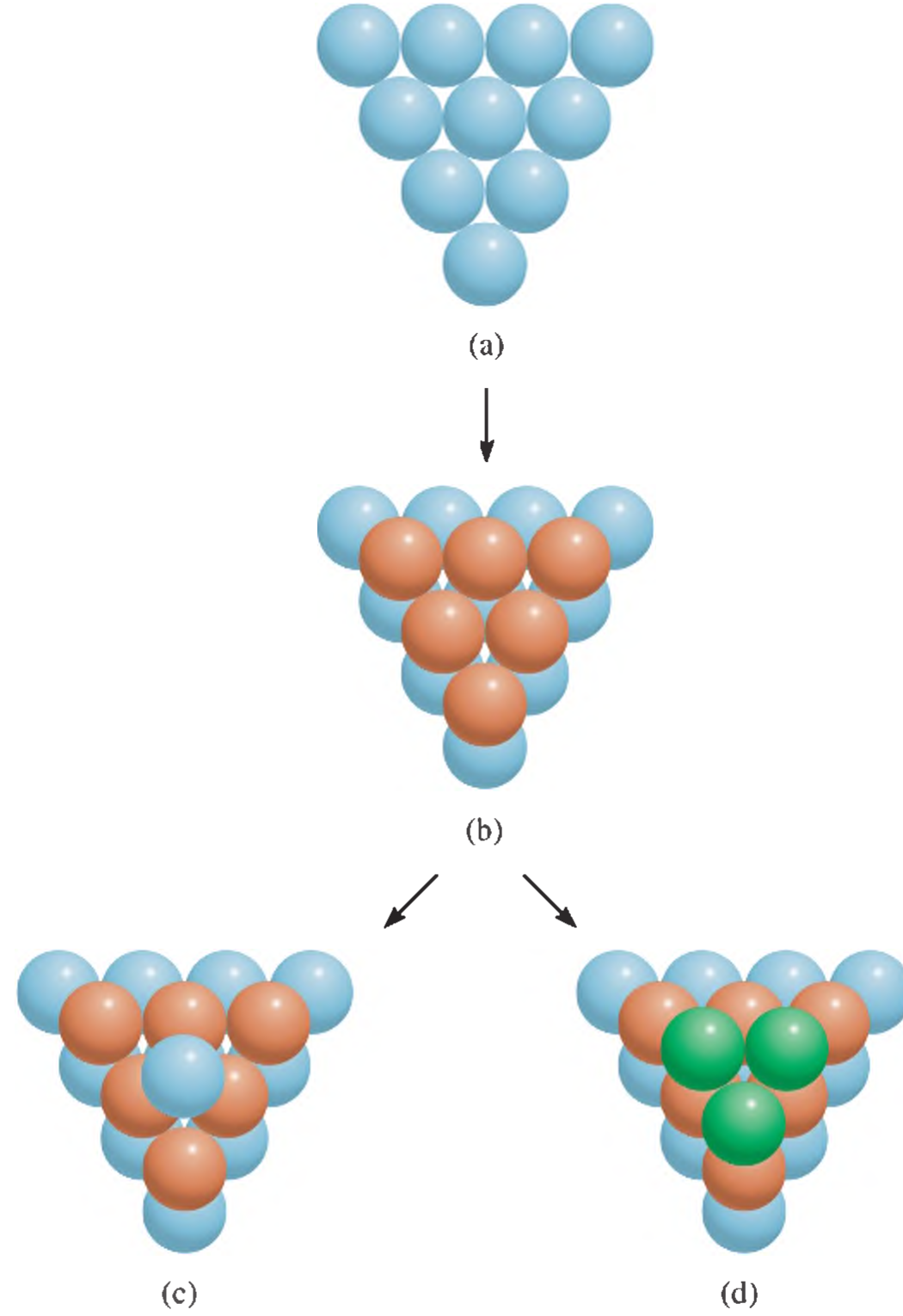
Şekil 11.19 (a) Herhangi bir birim hücrenin köşesinde bulunan bir atom sekiz tane hücre tarafından paylaşılır (b) Kenardaki bir atom ise dört tane birim hücre tarafından paylaşılır (a) yüzey merkezine yerleşmiş bir atoma ise iki tane birim hücre tarafından paylaşılır.



Sık İstiflenme

Basit kübik ve iç merkezli kübik istiflenmede, yüzey merkezli istiflenmeye göre çok daha fazla boşluk olduğu hemen fark edilmektedir. **Sık istiflenme**, kürelerin en etkin şekilde yerleştirilme biçimidir. İşe Şekil 11.20 (a)'daki yapıyla başlayalım ve buna A tabakası diyelim. Sadece ortadaki çevresi sarılmış olan küreye bakarsak, bu kürenin bu tabaka içinde altı tane komşusu olduğunu görürüz. İkinci tabakada ise (ki buna da B tabakası diyeceğiz) küreler birinci tabakadaki boşlukların içine yerleşmiş olduklarından, birbirine en yakın haldedir [Şekil 11.20 (b)]

Şekil 11.20 (a) Sık istiflenmiş tabakada her küre altı farklı küre ile temas halindedir. (b) İkinci tabakadaki küreler, birinci tabakadaki kürelerin arasındaki boşluklara oturmuştur. (c) Hegzagonal sıkı istiflenmede, her bir üçüncü tabaka küresi, doğrudan birinci tabakadaki kürenin (ilk tabakanın ortasındaki küre) üstüne doğrudur. (d) Kübik sıkı istiflenmede, ikinci tabakadaki boşluklara oturan her bir üçüncü tabaka küresi, ilk tabakadaki boşluklara doğru oturur (bu üç tabakanın tekrarlandığını unutmayınız)

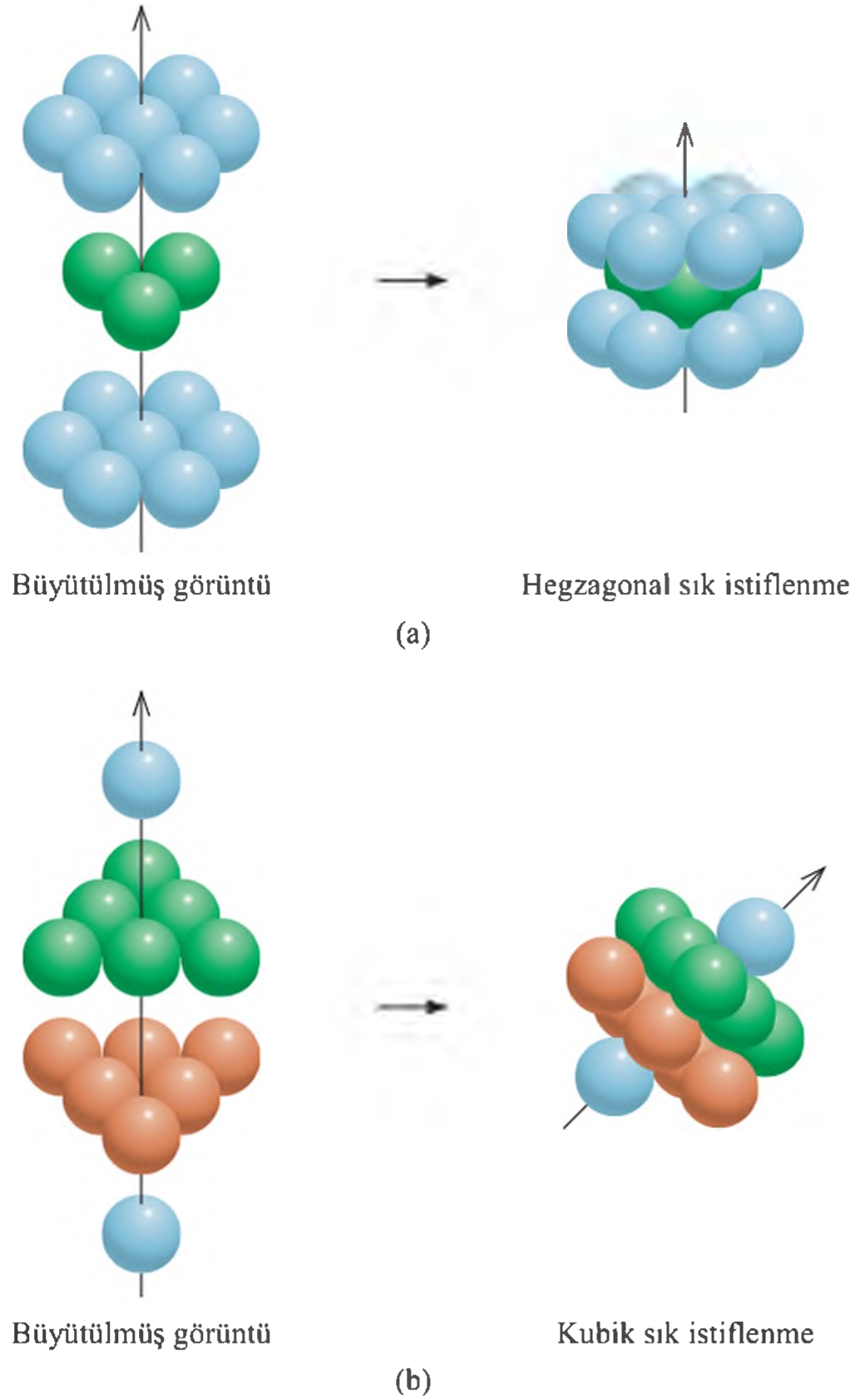


Sık istiflenme oluşturmak üzere, üçüncü küre tabakasının ikinci tabakanın üzerine oturmasının iki yolu vardır. Birincisi, ikinci tabaka boşluğuna oturan her bir üçüncü tabaka küresi, doğrudan birinci tabakadaki kürenin (ilk tabakanın ortasındaki küre) üstüne doğrudur [Şekil 11.20 (c)]. Birinci tabakanın ve üçüncü tabakanın düzeni arasında bir fark olmadığından bu üçüncü tabakaya da A tabakası diyebiliriz. Alternatif olarak, üçüncü tabakadaki küreler doğrudan birinci tabakadaki boşluklara karşılık gelecek şekilde de dizilebilirler [Şekil 11.20 (d)]. Bu durumda üçüncü tabakaya C tabakası demek gerekir. Şekil 11.21'deki bu iki yerleştirme şeklinde ortaya çıkan yapıların “büyütülmüş görüntüleri” verilmiştir. Buradaki ABA yapısı “*hegzagonal sık istiflenme (hsi)*” yapısı adını alır. ABC düzenlenmesi ise *kubik sık istiflenme (ksi)* yapısıdır ve az önce açıklanan yüzey merkezli kübik yapıya karşılık gelir. *hsi* yapısında, diğer tabakalardaki küreler aynı dikey konumu işgal ederken (ABABABB...), *ksi* yapısında her dördüncü tabakadaki küreler aynı dikey konumu işgal ederler (ABCABC...). Her iki yapıda da her küre 12 koordinasyon sayısına sahiptir (her küre kendi tabakasındaki altı, alt ve üst tabakalarda da üçer tane olmak üzere 12 farklı küre ile temas halindedir). Hem *ksi* hemde *hsi* yapıları birbirini ile aynı olan küreleri en sıkı bir şekilde istiflemenin en etkili yollarıdır. Burada koordinasyon sayısını 12'nin üzerine çıkarmak mümkün değildir.

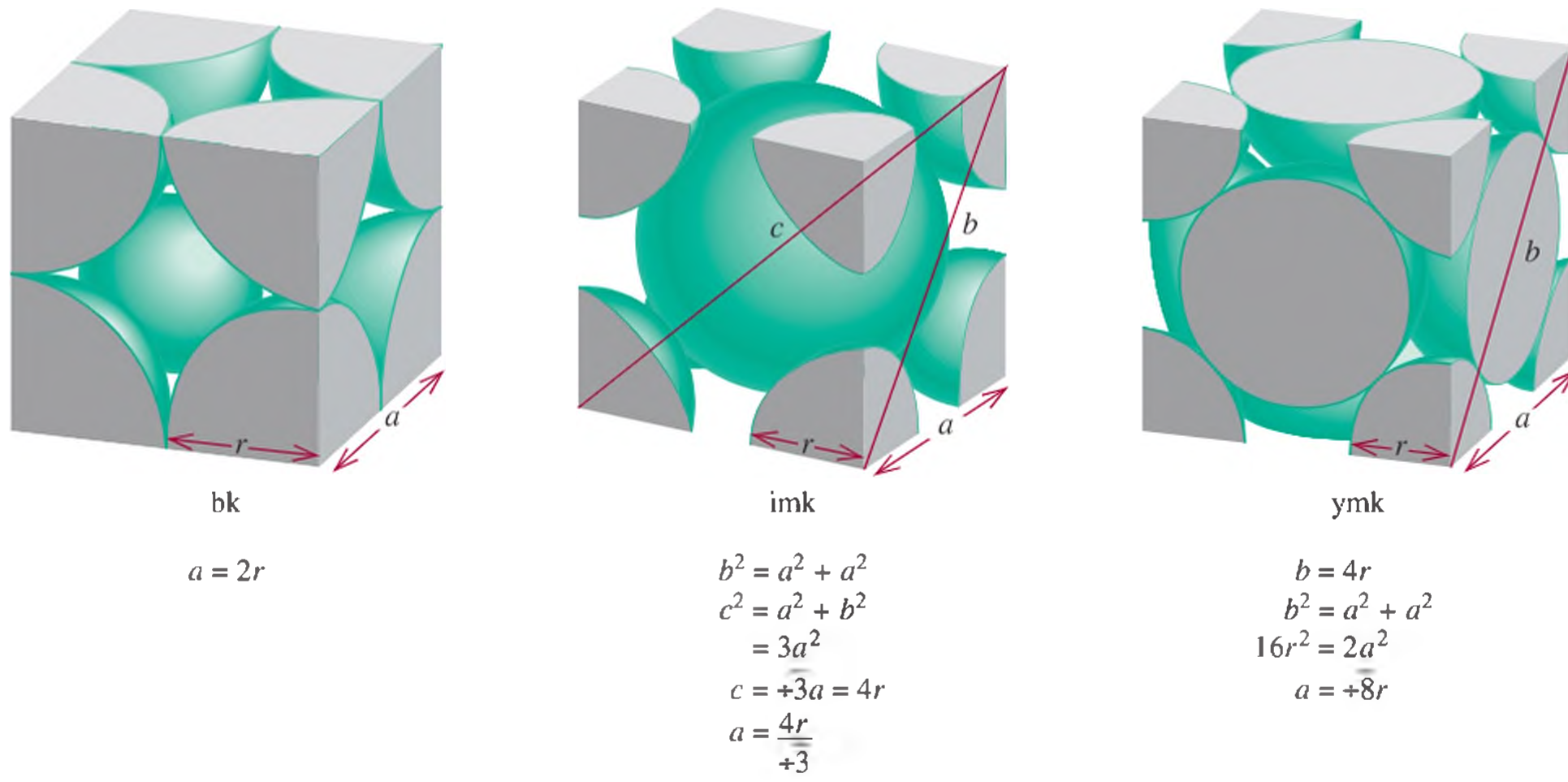
Birçok metal ve tek atomlu olan soy gazlar *hsi* veya *ksi* şeklinde kristaller oluşturur. Örneğin Mg, Ti ve Zn, *hsi* yapısıyla kristallenirken Al, Ni ve Ag, *ksi* düzenini tercih ederler. He haricindeki tüm katı hale gelmiş soy gazlar *ksi* yapısına sahipken helyum *hsi*



Bu portakallar Şekil. 20 (a)'daki sık istiflenmeye benzer dizilmişlerdir.



Şekil 11.21 (a) Hegzagonal sık istiflenme ve (b) kubik sık istiflenmenin genişletilmiş görüntüleri. Yüzey merkezli kübik birim hücreyi daha iyi görmek için ok biraz daha uzatılmıştır. Bu düzenleme, yüzey merkezli bir hücre ile aynıdır.



Şekil 11.22 Basit kubik hücrede, iç merkezli kubik hücrede ve yüzey merkezli kubik hücrede kenar uzunluğu (a) ile atom yarıçapı (r) arasındaki bağıntılar.

yapısıyla kristallenir. Doğal olarak, geçiş metalleri veya soy gazlar gibi birbirine benzer maddelerin neden farklı kristal yapılarını tercih ettiği sorusu sorulabilir. Bunun cevabı moleküller arası kuvvetlere bağlı olarak, kristal yapısının bağlı kararlılığında yatar. Dolayısıyla Mg metali *hsc* yapısına sahiptir, çünkü bu düzenlemede katı Mg en yüksek kararlılığa sahiptir.

Şekil 11.22’de basit kubik, iç merkezli kubik ve yüzey merkezli kubik hücreler için, atom yarıçapı (r) ile bir kubik hücrenin kenar uzunluğu (a) arasındaki bağıntılar verilmiştir. Örnek 11.3’de ise, kristalin yoğunluğunun bilinmesi durumunda, bu bağıntılar kullanılarak bir kürenin atom yarıçapının hesaplanabileceği gösterilmiştir.

Örnek 11.3

Altın (Au) kubik sık istiflenme yapısında, yüzey merkezli kubik hücre (ymk) şeklinde kristalleşir. Altının yoğunluğu $19,3 \text{ g/cm}^3$ olduğuna göre, atom yarıçapını (r) pikometre cinsinden hesaplayınız.

İzlenecek Yol Burada altın atomunun yarıçapını hesaplamak istiyoruz. Şekil 11.22’ye göre yüzey merkezli kubik hücre için, yarıçap (r) ve kenar uzunluğu (a) arasındaki bağıntı $a = \sqrt{8}r$ olarak verilmektedir. Dolayısıyla, bir Au atomunun r değerini tespit etmek için önce a değerini bilmemiz gerekir. Bir küpün hacmi $V = a^3$ olduğuna göre $a = \sqrt[3]{V}$ olur. Buna göre, birim hücrenin hacmini belirlersek, a değerini de kolaylıkla buluruz.

$$\text{yoğunluk} = \frac{\text{kütle}}{\text{hacim}}$$

verilmiş bulmak zorundayız hesaplamak istiyoruz

İzlenecek basamaklar şöyle özetlenebilir:

birim hücrenin yoğunluğu \longrightarrow birim hücrenin hacmi \longrightarrow birim hücrenin kenar uzunluğu \longrightarrow Au atomunun yarıçapı
(Devamı)

Çözüm

Adım 1: Yoğunluğu bildiğimize göre, hacmi bulmak için birim hücrenin kütlesini bulmamız gerekir. Her hücrenin sekiz tane köşesi ve altı tane yüzeyi vardır. Şekil 11.19'a göre bu tip bir hücre içindeki toplam atom sayısı şöyle hesaplanır:

$$\left(8 \times \frac{1}{8}\right) + \left(6 \times \frac{1}{2}\right) = 4$$

Birim hücrenin gram olarak kütlesi:

$$\begin{aligned} m &= \frac{4 \text{ atom}}{1 \text{ birim hücre}} \times \frac{1 \text{ mol}}{6,022 \times 10^{23} \text{ atom}} \times \frac{197,0 \text{ g Au}}{1 \text{ mol Au}} \\ &= 1,31 \times 10^{-21} \text{ g/birim hücre} \end{aligned}$$

Yoğunluğun tanımından ($d = m/V$), birim hücrenin hacmini şöyle hesaplayabiliriz:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{1,31 \times 10^{-21} \text{ g}}{19,3 \text{ g/cm}^3} = 6,79 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

Adım 2: Hacim kenar uzunluğunun küptü olduğuna göre, birim hücrenin kenar uzunluğu a şöyle bulunur:

$$\begin{aligned} a &= \sqrt[3]{V} \\ &= \sqrt[3]{6,79 \times 10^{-23} \text{ cm}^3} \\ &= 4,08 \times 10^{-8} \text{ cm} \end{aligned}$$

Adım 3: Şekil 11.22'den Au küresinin yarıçapı (r) ve kenar uzunluğu (a) arasında şöyle bir bağıntı vardır:

$$a = \sqrt{8} r$$

Buradan,

$$\begin{aligned} r &= \frac{a}{\sqrt{8}} = \frac{4,08 \times 10^{-8} \text{ cm}}{\sqrt{8}} \\ &= 1,44 \times 10^{-8} \text{ cm} \\ &= 1,44 \times 10^{-8} \text{ cm} \times \frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{1 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ pm}}{1 \times 10^{-12} \text{ m}} \\ &= 144 \text{ pm} \end{aligned}$$

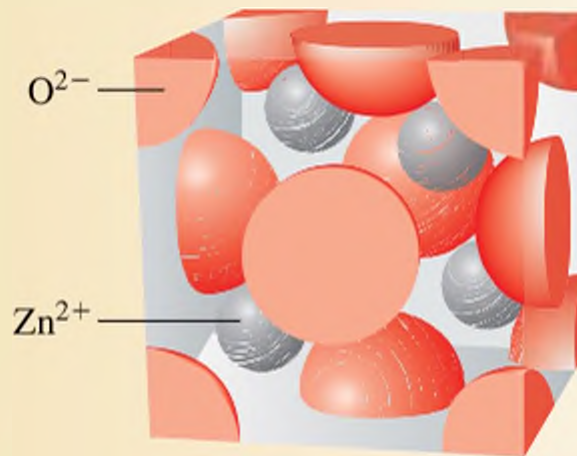
Alıştırma Gümüş, yüzey merkezli kubik hücre verecek şekilde kristalleşmektedir. Birim hücrenin kenar uzunluğu 408.5 pm olduğuna göre, gümüşün yoğunluğunu hesaplayınız.

Yoğunluk bir şiddet özelliği olduğundan, değeri 1 cm^3 için veya bir birim hücre için aynıdır.

Benzer problem: 11.39.

Kavramların Değerlendirilmesi

Çinko oksitın birim hücresi aşağıda verilmiştir. Çinko oksitın formülü nedir?



11.5 Kristallerde X-Işını Kırınımı

Neredeyse, kristal yapılar hakkında bildiğimiz her şey X-ışını kırılma yöntemi ile elde edilmiştir. *X-ışını kırınımı*, bir kristalin katı birimleri tarafından X ışınlarının saçılmasına denir. Bu saçılma veya kırınım dereceleri, katı örgü yapısı içindeki taneciklerin nasıl düzenlendiğini aydınlatmada kullanılır.

Kesim 10.6'da girişim olaylarının dalgalardan kaynaklandığını görmüştük (bak. Şekil 10.22). X ışınları elektromanyetik ışınların bir biçimi ve dolayısıyla bir dalga olduklarından, bunların da uygun şartlar altında dalga özelliği göstermesi gerekir. 1912 yılında Alman Fizikçi Max von Laue¹, X ışınları dalga boyunun kristallerdeki örgü noktalarının arasındaki mesafelere yakın olduğunu ve bu nedenle örgü yapısının X ışını kırınımına sebep olabileceğini fark etti. Sonuçta, X ışını kırınımı, X ışını ile ilgili olan dalgaların girişiminin bir sonucuydu.

Şekil 11.23'de tipik bir X-ışını kırınım düzeniği görülmektedir. Burada bir X-ışını demeti, sabit kristale doğru yönlendirilir. Kristaldeki atomlar bu gelen X-ışınının bir kısmını soğurur ve onu tekrar yayar. Bu işleme ise *X-ışınlarının saçılması* (veya kırınımı) adı verilir.

Bu kırınımın nasıl oluştuğunu anlamak için, X ışınlarının iki paralel düzlemden saçıldıklarını farz edelim (Şekil 11.24). İlk başta gelen her iki ışın, birbiri ile aynı fazdadır. (yani minimum ve maksimum noktaları aynı noktada meydana gelir). Üsteki dalga birinci tabakadaki bir atom tarafından kırılır ya da yansıtılırken, alttaki dalga ikinci tabakadaki bir atom tarafından saçılır ya da kırılır. Bu iki dalganın tekrar aynı fazda olması için, alttaki dalganın alacağı ek mesafenin de dalga boyu λ 'nın tam sayılı katları olması gerekir, yani:

$$BC + CD = 2d \sin \theta = n\lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

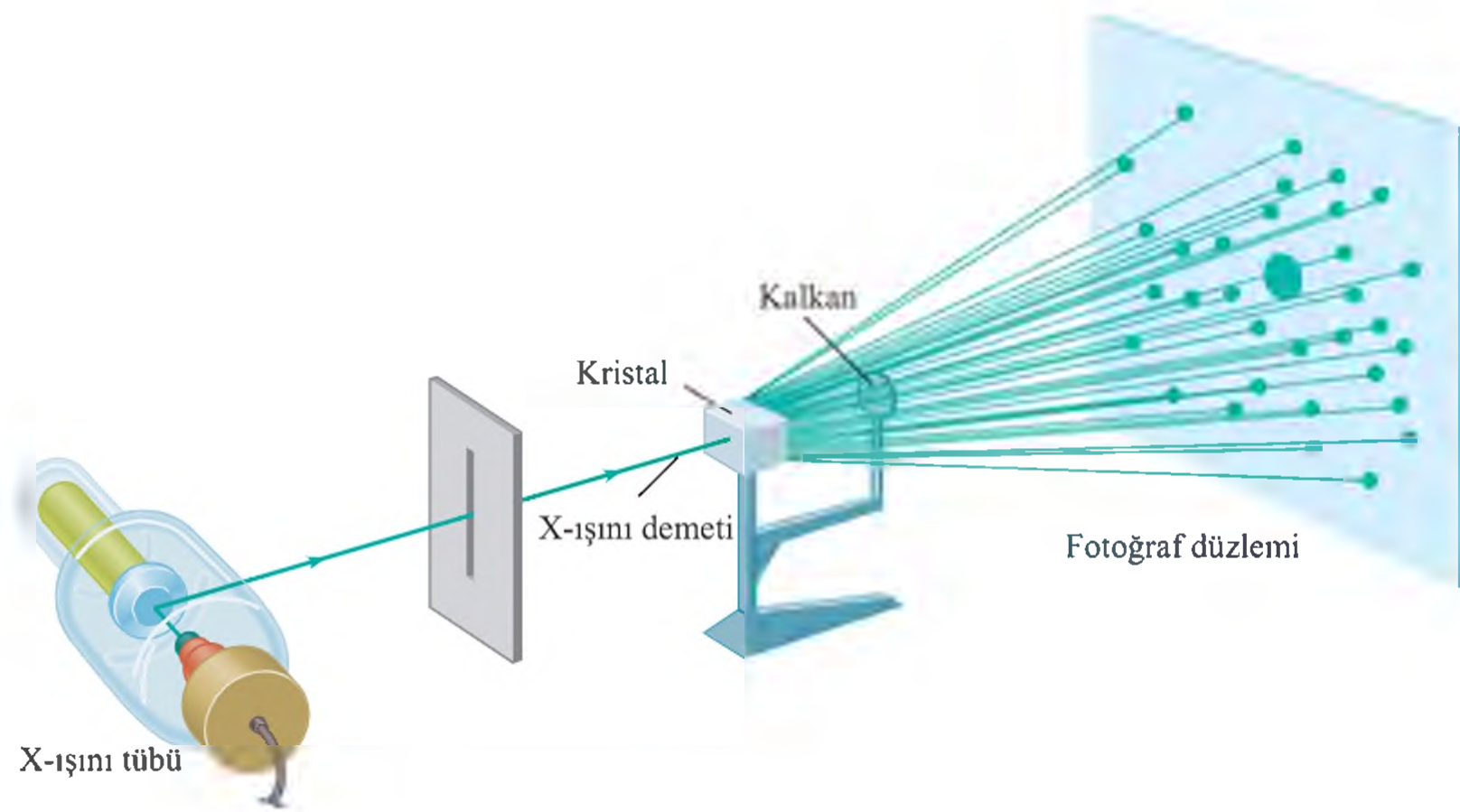
veya

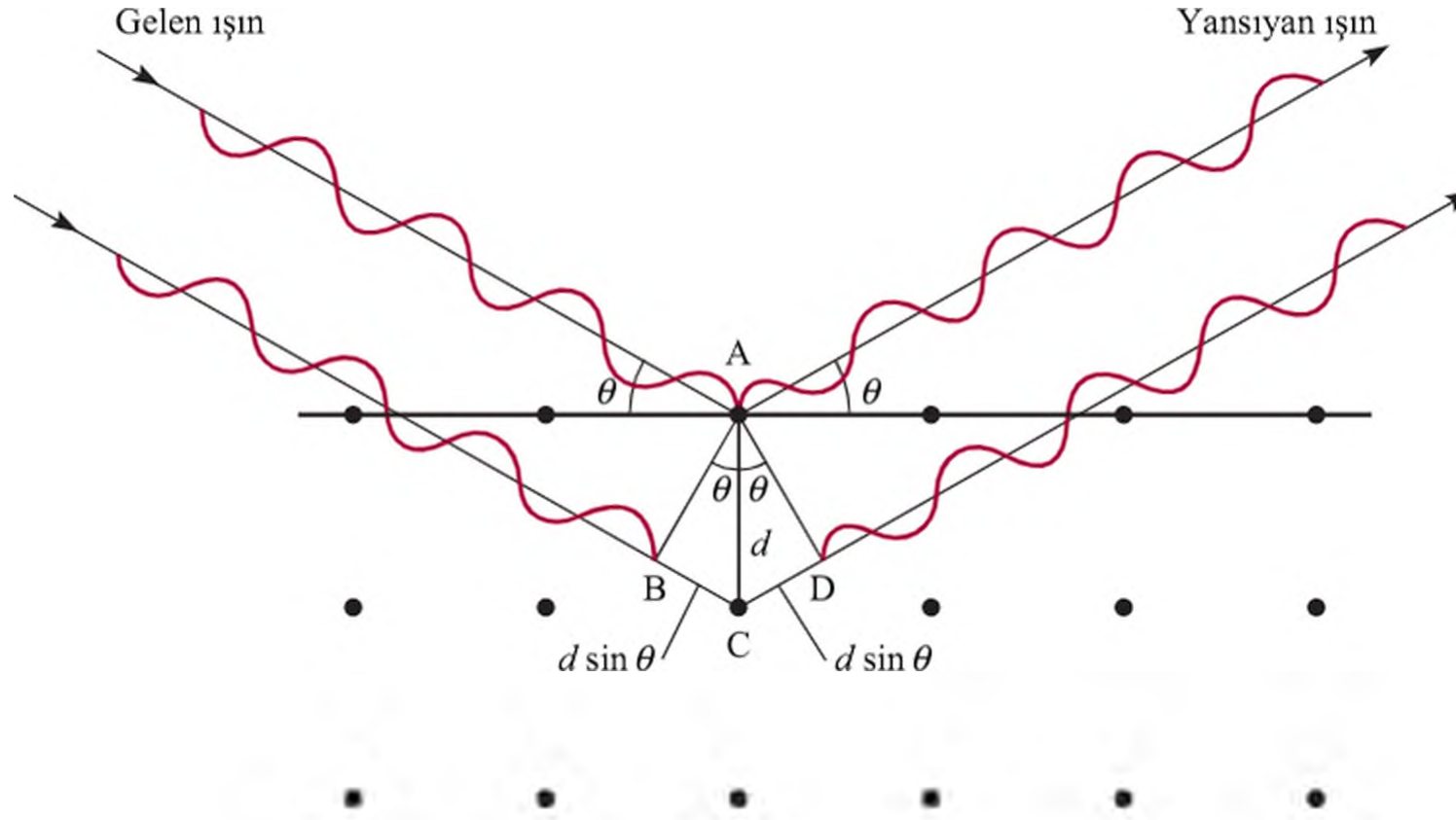
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (11.1)$$

Burada θ açısı, X ışınları arasındaki açıyı, d ise birbirine komşu tabakaları arasındaki mesafeyi gösterir. Eşitlik 11.1, William H. Bragg¹ ve Sir William L. Bragg¹ anısına

¹Max Theodor Felix von Laue (1879-1960). Alman fizikçi von Laue, X-ışını kırınımını keşfetmesinden dolayı 1914 yılında nobel fizik ödülü almıştır.

Şekil 11.23 Bir kristalin X-ışığı kırınım desenini elde etmek için kullanılan bir düzenek. Ortadaki kalkan saçılmayan güçlü X-ışınlarının fotoğraf tabakasına zarar vermesini önler.





Şekil 11.24 X ışınının iki tabaka atomdan yansıması. Altaki dalga üstedeki dalgadan $2d\sin\theta$ kadar fazla yol kat eder. Bu iki dalganın yansıdıktan sonra tekrar aynı fazda olması için $2d\sin\theta = n\lambda$ şartının sağlanması gerekir. Burada λ dalga boyunu n ise 1, 2, 3... gibi tam sayıları gösterir. Şekil 11.23'deki koyu noktalar kristalin yüzlerce paralel çizgi içerecek kadar büyük olması durumunda gözlenir

Bragg denklemi olarak bilinir. Kuvvetlendirilmiş dalgalar, Bragg denklemini sağlayan her θ değeri için fotoğraf plağı üzerinde siyah bir nokta oluşur.

Örnek 11.4 (11.1) denkleminin kullanışımı açıklamaktadır.

Güçlendirilmiş dalgalar birbiriyle tamamlayıcı olarak etkileşir (bak 11.22)

Örnek 11.4

0,154 nm dalga boyundaki bir X-ışını, Al bir kristal üzerine çarpmakta ve $19,3^\circ$ lik bir açıyla yansımaktadır. $n = 1$ kabul ederek, bu yansıma sebepli olan alüminyum atomlarının düzlemleri arasındaki mesafeyi (pm olarak) hesaplayınız. Birim dönüştürme faktörü için, $1\text{nm} = 1000\text{ pm}$ kullanılabilir.

İzlenecek Yol Bu problem Eşitlik 11.1'in bir uygulamasıdır.

Çözüm Dalga boyunu pikometreye çevirip, $19,3^\circ$ lik yansıma açısı ile beraber Bragg eşitliğinde kullanalım:

$$\begin{aligned} d &= \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \\ &= \frac{0,154 \text{ nm} \times \frac{1000 \text{ pm}}{1 \text{ nm}}}{2 \sin 19,3^\circ} \\ &= 233 \text{ pm} \end{aligned}$$

Alıştırma 0,154 nm dalga boyuna sahip olan X ışınları bir kristalden $14,17^\circ$ açıyla kırılmaktadır. $n = 1$ kabul ederek, kristaldeki tabakaların arasındaki mesafeyi pm cinsinden hesaplayınız

Berzer problemler: 11.47, 11.48.

X –ışını kırınımı tekniği, katı haldeki moleküllerin bağ uzunlukları ve açılarını hesaplamak için kullanılan en doğru yöntemdir. X-ışınları elektronlarca saçıldıklarından, kimyacılar karmaşık kimyasal hesaplamalar yaparak, bir molekülün çeşitli bölgelerindeki elektron yoğunluklarını gösteren elektron yoğunluk haritaları çıkarmışlardır. Bir *elektron yoğunluk haritası* temel olarak, bir molekülün değişik bölgelerindeki

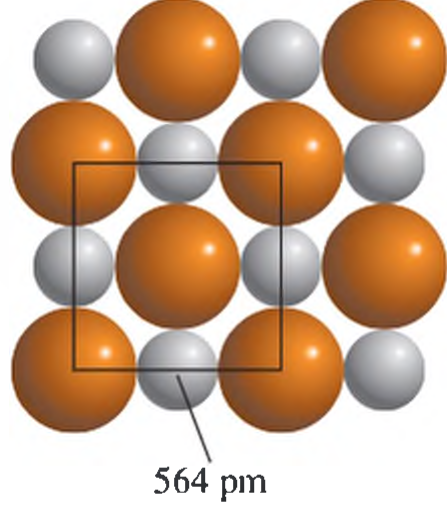
¹William Henry Bragg (1862-1942). İngiliz fizikçi. Bragg genellikle X-ışınları kristalografi üzerine çalıştı. 1915'de oğlu Sir William Lawrence Bragg'la birlikte Nobel Fizik ödülünü paylaştı.

²Sir William Lawrence Bragg(1890-1972) İngiliz fizikçi. Bragg X-ışını kırınımı için olan temel denklemi türetti ve 1915 yılında babasıyla birlikte Nobel fizik ödülünü paylaştı.

bağlı elektron yoğunluklarını gösterir. Bu elektron yoğunlukları her atomun merkezine yaklaştıkça maksimum bir değere ulaşır. Bu şekilde, her çekirdeğin yerini ve molekülün geometrik parametrelerini tespit edilebiliriz.

Kavramların Değerlendirilmesi

X-ışını kırınım tekniği, neden bir sıvının molekül yapısını incelemek için kullanılamamaktadır?



Şekil 11.25 Birim hücre boyutu ile Na^+ ve Cl^- iyonlarının yarıçapları arasındaki ilişki. Burada bir birim hücrenin uzunluğu, bu iki iyonun yarıçaplarının uzunluğunun iki katıdır.



Bu dev potasyum dihidrojen fosfat kristalleri laboratuvarında büyütülmüştür. Bunların en büyüğü 300 kg civardır.

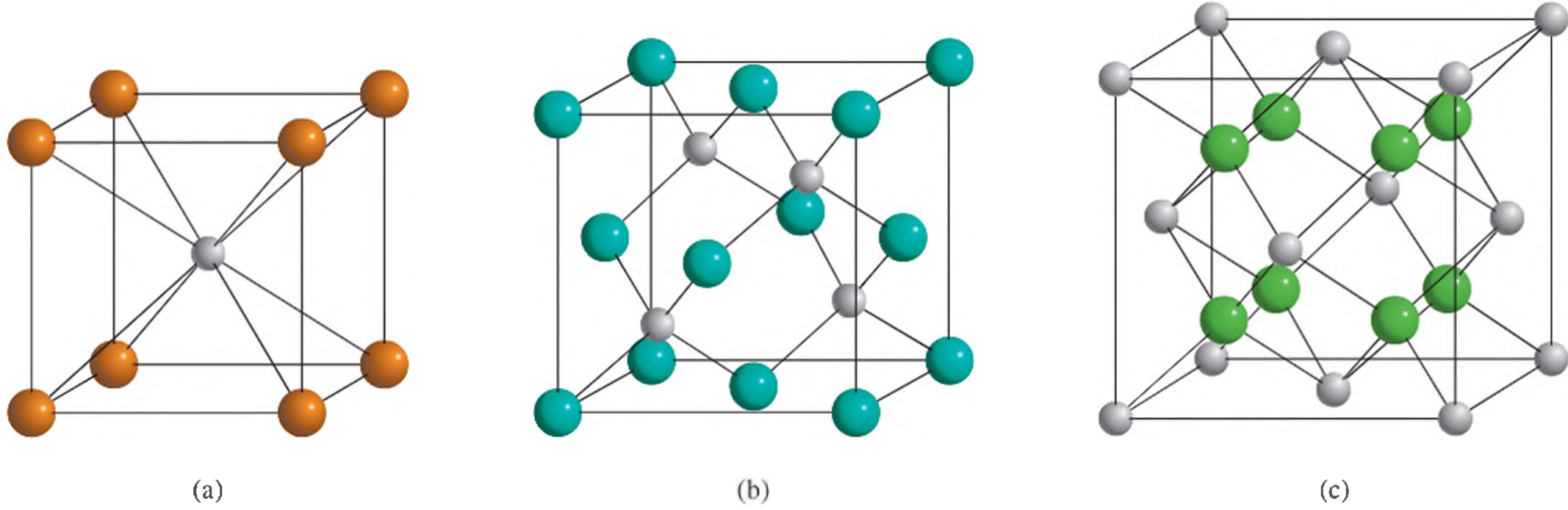
11.6 Kristal Tipleri

Kristallerin erime noktaları, yoğunluk ve sertlik gibi özellikleri molekülleri bir arada tutan kuvvetlerin türleri tarafından belirlenir. Kristaller iyonik, kovalent, moleküler ve metalik olmak üzere dört sınıfa ayrılır:

İyonik kristaller

İyonik kristallerin iki önemli özelliği vardır: 1) yüklü taneciklerden (iyonlardan) oluşmaları (2) anyon ve katyonların boyutlarının birbirinden oldukça farklı olması. Kristali oluşturan iyonların yarıçaplarının bilinmesi, bunların yapıları ve kararlılıklarını anlamamıza yardımcı olur. Tek bir iyonun yarıçapını ölçmenin doğrudan bir yolu yoktur. Ancak, iyonların yarıçaplarını mantıklı bir yolla belirlemek mümkündür. Örneğin, KI içindeki I⁻ iyonunun yarıçapının yaklaşık olarak 216 pm olduğunu biliyorsak, KI içindeki K⁺ iyonunun yarıçapını da tahmin edebiliriz. Buradan da KCl'deki Cl⁻ iyonunun yarıçapını belirleyebiliriz. Şekil 8.9'da verilen iyonik yarıçaplar, çeşitli bileşiklerden elde edilmiş ortalama değerlerdir. Yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan NaCl kristalini ele alalım (bak. Şek. 2.13). NaCl'nin birim hücresinin bir kenarının, Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının yarıçapları toplamının iki katı olduğu, Şekil 11.25'de görülmektedir. Şekil 8.9'da verilen değerleri kullanmak suretiyle hücrenin bir kenarının uzunluğu 2 (95 + 81) = 552 pm olarak bulunur. Ancak, Şekil 11.25'de gösterildiği gibi bu değer X-ışını kırınımı ile 564 pm bulunmuştur. Bu iki değer birazcık farklı çıkmasının nedeni, bir iyonun bulunduğu bileşiğe bağlı olarak, yarıçapının azda olsa farklılık gösterdiğinin kanıtlanmış olmasıdır.

Şekil 11.26'da, üç tane iyonik bileşik olan CsCl, ZnS ve CaF₂'nin kristal yapıları gösterilmiştir. Cs⁺ iyonu Na⁺ iyonundan oldukça büyük olduğundan, CsCl basit kübik yapıya sahiptir. ZnS ise yüzey merkezli kübik yapıya dayanan *zinkblend* yapısındadır. Bu ya-



Şekil 11.26 (a) CsCl (b) ZnS ve (c) CaF₂ kristal yapıları. Her birinde katyonlar, daha küçük küreler şeklinde gösterilmiştir.

pıda, S^{2-} iyonları örgü noktalarına yerleşmiş ve Zn^{2+} iyonları da her bir diyagonal mesafenin $\frac{1}{4}$ 'üne yerleşmiştir. Diğer *zincblend* yapısına sahip olan kristaller arasında $CuCl$, BeS , CdS ve HgS sayılabilir. CaF_2 'nın ise *florit* yapısı vardır. Burada Ca^{2+} iyonları örgü noktalarında bulunur ve her bir F^- iyonu tetrahedral olarak dört tane Ca^{2+} iyonu tarafından sarılmıştır. Bu yapıya sahip bileşikler içinde SrF_2 , BaF_2 , BaF_2 ve PbF_2 sayılabilir.

Örnek 11.5 ve 11.6, birim hücredeki iyon sayısını ve birim hücrenin yoğunluğunun nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

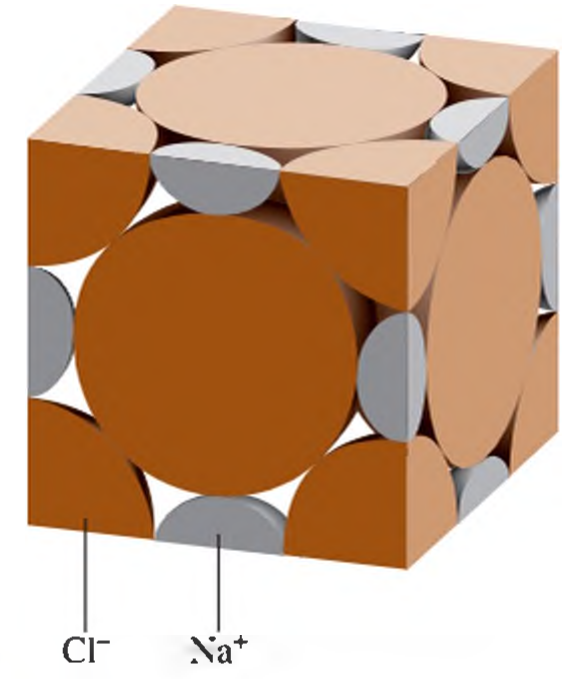
Örnek 11.5

Her bir $NaCl$ birim hücresinde, kaç tane Na^+ ve Cl^- iyonu vardır?

Çözüm $NaCl$ yüzey merkezli kübik örgü yapısına sahiptir. Şekil 2.13'de birim hücrenin tam merkezinde tam bir Na^+ iyonu varken kenarlarada 12 tane Na^+ iyonu yerleşmiştir. Her köşedeki Na^+ iyonu dört tane birim hücre tarafından paylaşılmaktadır[Şekil 11.19 (b)]. Dolayısıyla birim hücredeki Na^+ sayısı $1 + (12 \times \frac{1}{4}) = 4$ olarak bulunur. Benzer olarak her yüzeyin merkezinde altı, köşelerde de sekiz tane Cl^- iyonu bulunmaktadır ve bu yüzey merkezine olan Cl^- iyonları iki tane, köşelerdeki Cl^- iyonları da sekiz tane birim hücre tarafından paylaşılmaktadır. Burada birim hücredeki Cl^- iyonu sayısı $(6 \times \frac{1}{2}) + (8 \times \frac{1}{8}) = 4$ olarak bulunur. Dolayısıyla $NaCl$ birim hücresinde net olarak dört tane Cl^- ve dört tane de Na^+ iyonu bulunmaktadır. Şekil 11.27'de birim hücre içerisinde kalan Na^+ ve Cl^- iyonlarının kısımları görülmektedir.

Kontrol Bu sonuç sodyum klorürün basit formülüne uymaktadır.

Alıştırma Bütün atomların örgü noktalarına oturduğunu farz ederek, iç merkezli kübik yapıda kaç tane atom bulunduğunu hesaplayın?



Şekil 11.27 Yüzey merkezli kübik birim hücrede Na^+ ve Cl^- iyonlarının kesitleri.

Benzer problem: 11.41.

Örnek 11.6

$NaCl$ birim hücresinin bir kenarının uzunluğu 564 pm 'dir. $NaCl$ 'nin yoğunluğu (g/cm^3) nedir?

İzlenecek Yol Yoğunluğu bulmak için birim hücrenin kütleini bilmemiz gerekir. Kenar uzunluğu verildiği için birim hücrenin hacmi $V = a^3$ den kolaylıkla bulunur. Peki, birim hücrede kaç tane Na^+ ve Cl^- iyonu vardır? Birim hücrenin *akb* cinsinden toplam kütle nedir? *akb*'yi grama ve *pm* birimini cm 'ye çevirmek için hangi dönüşü faktörlerini kullanmak gerekir?

Çözüm Örnek 11.5'den, her birim hücrede dört tane Na^+ ve dört tane Cl^- iyonu olduğunu biliyoruz. Dolayısıyla *akb* cinsinden birim hücrenin toplam kütle:

$$\text{kütle} = 4(22,99 \text{ akb} + 35,45 \text{ akb}) = 233,8 \text{ akb}$$

akb'yi grama çevirirsek:

$$233,8 \text{ akb} \times \frac{1 \text{ g}}{6,022 \times 10^{23} \text{ akb}} = 3,882 \times 10^{-22} \text{ g}$$

Birim hücre hacmi $V = a^3 = (564 \text{ pm})^3$ olur. Bunu cm^3 birimine çevirirsek:

$$V = (564 \text{ pm})^3 \times \left(\frac{1 \times 10^{-12} \text{ m}}{1 \text{ pm}} \right)^3 \times \left(\frac{1 \text{ cm}}{1 \times 10^{-2} \text{ m}} \right)^3 = 1,794 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$$

(Devamı)

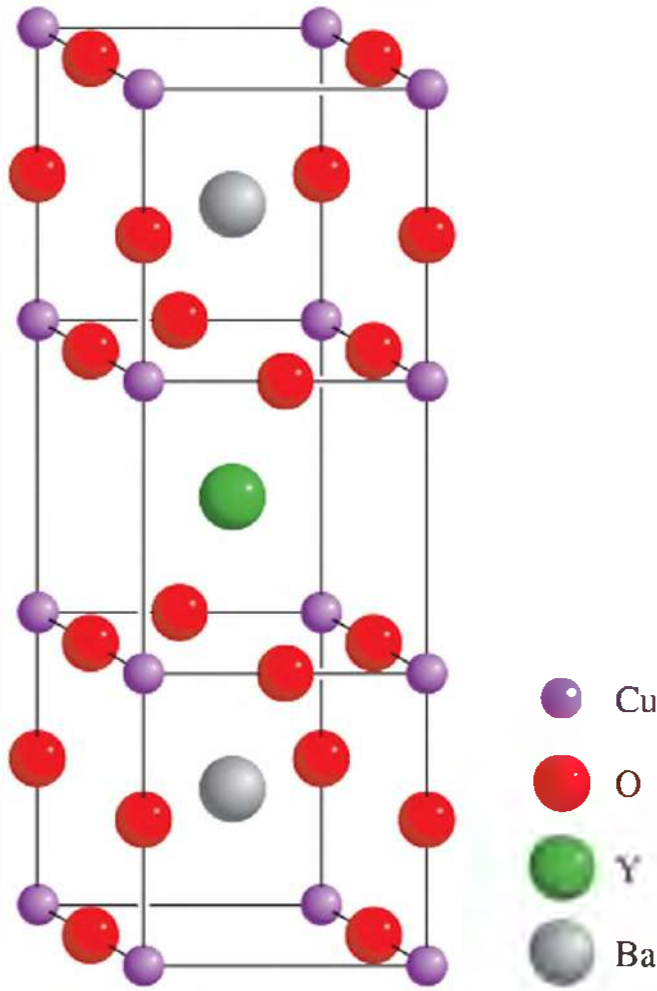
Yüksek-sıcaklık süper-iletkenleri

Bakır ve alüminyum gibi metaller elektriği iyi iletmelerine rağmen yine de bir elektriksel dirence sahiptir. Dolayısıyla elektriğin bu metallerden yapılmış olan kablolarla taşınması durumunda, %20'si ısı şeklinde boşa gitmektedir. Keşke elimizde hiç elektriksel direnç göstermeyen kablolar olsaydı, harika olurdu değil mi?

Bazı metallerin çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulması halinde (yaklaşık olarak helyumun kaynama sıcaklığı olan 4K'e) hiçbir elektriksel direnç göstermeyeceği yaklaşık yüzyıldır bilinmektedir. Ancak süper iletken olarak adlandırılan bu

maddeleri elektrik iletiminde kullanmak hiçte pratik olmayan bir iştir. Çünkü elektrik kablolarını olağan üstü düşük sıcaklıklarda tutmak için gereken maliyet elde edilecek verimden çok daha fazladır.

1986 yılında iki İsviçreli fizikçi, 30 K civarında süper-iletkenlik gösteren yeni nesil bir malzeme keşfetmişlerdi. 30 K çok düşük bir sıcaklık olmasına rağmen, 4 K'e nazaran yine de yüksekti. Ancak bu çalışma yinede müthiş bir başarı idi ve büyük bir ilgi gördü. Aylar sonra bilim insanları 95 K civarında, yani sıvı azotun kaynama noktasının (77K) çok üstünde, süper-



$YBa_2Cu_3O_x$ ($x = 6$ veya 7). Bazı oksijen bölgeleri boş olduğundan formül sabit değildir.



Bir mıknatısın, sıvı azot içine daldırılmış yüksek-sıcaklık süper iletkende havaya yükselmesi.

Son olarak yoğunluğun tanımından:

$$\text{yoğunluk} = \frac{\text{kütle}}{\text{hacim}} = \frac{3,882 \times 10^{-22} \text{ g}}{1,794 \times 10^{-22} \text{ cm}^3} = 2,16 \text{ g/cm}^3$$

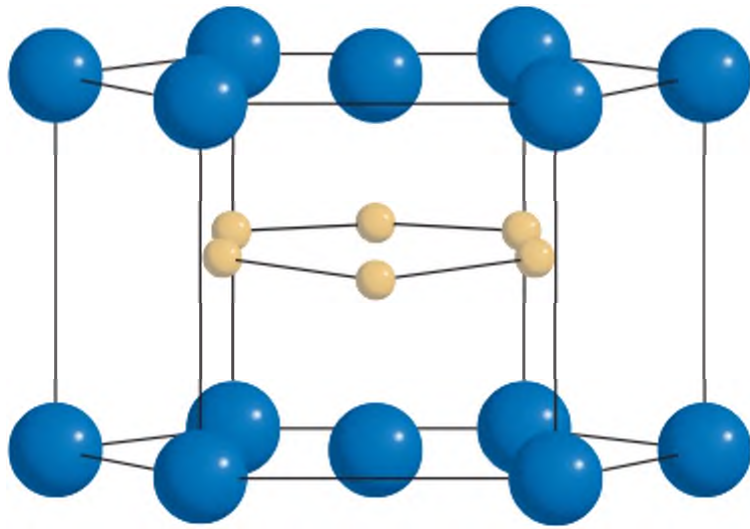
Berzer problem: 11.42.

Alıştırma Bakır yüzey merkezli kübik yapıda kristalleşmektedir (bakır atomları sadece örgü noktalarındadır). Bakırın yoğunluğu 8.89 g/cm^3 olduğuna göre birim hücrenin kenar uzunluğunu (pm) bulunuz.

iletkenlik gösteren maddeler sentezledi. 490. sayfadaki şekil bu bileşiklerden birinin kristal yapısını, yani $YBa_2Cu_3O_x$ (Burda $x = 6$ veya 7) formülü ile verilen ytrium, baryum ve bakırın karışık bir oksitini göstermektedir. Yukarıdaki şekilde, sıvı azot içine daldırılmış bir süper-iletkenin üzerindeki bir mıknatısın havada durduğu görülmektedir.

İlk başta büyük heyecan uyandırmasına rağmen, bu tip süper-iletkenler beklentileri karşılamaktan çok uzak kaldı. 30 yıllık yoğun araştırmalar sonunda bilim insanları halen bu bileşiklerin neden ve nasıl süper-iletkenlik gösterdiklerini çözememişlerdir. Bu bileşiklerin tel şeklinde çekilebilmesindeki zorluklar ve diğer bazı teknik problemler, geniş çaptaki ticari kullanımlarını engellemiştir.

Bir başka umut verici gelişme 2001 yılında Japonya'da gerçekleşmiş ve Japon bilim insanları MgB_2 (magnezyum diborür) bileşiğinin 40 K civarında süperiletkenlik gösterdiğini bulmuşlardır. Soğutucu olarak sıvı azot yerine sıvı neon (k.n 27K) gerekmesine rağmen, bu yinede sıvı helyum kullanımından çok daha ucuzdur. Magnezyum diborür, bir yüksek-sıcaklık süper iletkeni olarak, bazı önemli üstünlüklere sahiptir. Birincisi, bu çok ucuz bir madde olup (gramı 2 dolar) denemelerde istenildiği kadar kullanılabilir. İkincisi, MgB_2 'nin süper iletkenlik mekanizması, 4 K'de süper iletkenlik mekanizması çok iyi bi-



MgB_2 'nin kristal yapısı. B atomları (altın renkli) bal peteği görüntüsü verirken, Mg atomları (mavi) hegzagonal bir tabaka oluşturur.

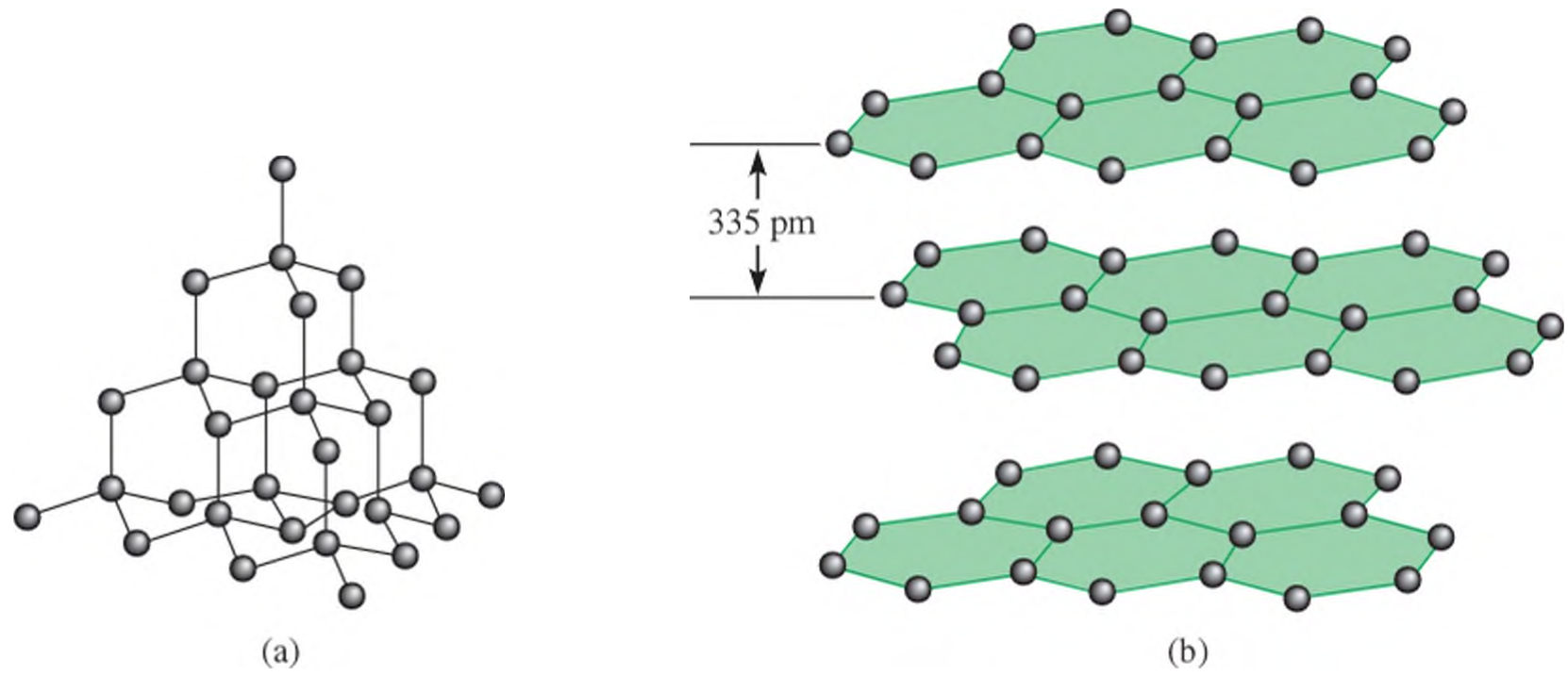
linen alaşımlara çok benzerdir. Üçüncüsü ise, bu malzemeyi ticari hale getirmek yani tel veya ince film haline getirmek çok daha kolaydır. İlerde yapılacak daha gayretli araştırmalarla, belkide önümüzdeki günlerde, çok farklı yüksek-sıcaklık süper iletkenler kullanılarak süper bilgisayarlar yapılacaktır. Elektrik akış hızına bağlı olarak çok daha güçlü tanecik hızlandırıcıların, nükleer füzyona uygun malzemelerin ve tıpta daha duyarlı rezonans görüntüleme (MRI) sistemlerinin yapılacağı yüksek-sıcaklık süper iletkenlerin geliştirilmesi beklenmektedir. Yüksek-sıcaklık süper iletkenler için olan yarış belkide tam yeni ısınmaya başladı!



Sıvı helyum sıcaklığındaki süper iletken malzeme üzerinde raylara değmeden giden deneysel bir tren.

İyonik kristallerin çoğu yüksek erime noktalarına sahiptir. Bunun nedeni, iyonların yüksek kohezif kuvvetlerle bir arada tutulmasıdır. İyonik kristallerin kararlılığın bu ölçütü de örgü enerjisidir (bak. Kesim 9.3). Yani, örgü enerjisi ne kadar büyükse, bileşik o derece kararlıdır. İyonik bileşikler katı halde iken elektriği iletmezler, çünkü iyonlar kristal içerisinde sabit konumdadırlar. Ancak eridiklerinde (eriyik hal) veya suda çözüldüklerinde iyonlar serbestçe hareket ettiklerinden, oluşan sıvı elektriksel olarak iletkenidir.

Şekil 11.28 (a) Elmasın yapısı. Her karbon atomu tetrahedral olarak dört tane karbon atomuna bağlıdır. (b) Grafitin yapısı. İki tabaka arasındaki mesafe 335 pm'dir



Kovalent Kristaller

Kovalent kristallerde tamamen kovalent kuvvetlerin etkisi ile bir arada tutulan atomların oluşturduğu 3 boyutlu bir yapı vardır. Bunlar içinde en çok bilinenleri karbonun iki alotropu olan elmas ve grafitir (bak Şekil 8.17). Elmasta her karbon atomu sp^3 hibritleşmesine sahiptir ve dört tane farklı karbon atomuna bağlıdır (Şekil 11.28). Bu üç boyutlu ve kuvvetli kovalent bağlar elmasa olağan üstü bir sertlik (elmas bilinen en sert maddedir) ve çok yüksek bir erime noktası sağlar (3550 °C). Grafitte ise karbon atomları altılı halkalar şeklinde dizilidir. Atomların hepsi sp^2 hibritleşmesi yapmış haldedir ve her atom kovalent olarak üç farklı karbon atomuna bağlıdır. Geride kalan sp orbitali ise π -bağı yapmakta kullanılır. Her bir grafit tabakası, benzen molekülündeki gibi, delocalize molekül orbitaline sahiptir (bak. Kesim 10.8). Elektronlar bu oldukça lokalize olmuş molekül orbitali boyunca serbestçe hareket ettiklerinden, grafit karbon atomları düzlemi boyunca elektriği gayet iyi iletir. Buradaki tabakalar zayıf van der Waals kuvvetleri ile bir arada tutulur. Grafitteki kovalent bağlar ona yüksek sertlik verir. Tabakalar birbirlerinin üzerinden kayabildiklerinden, grafitin yüzeyi kaygan olup kendisinde etkin bir kaydırıcıdır. Grafit aynı zamanda kurşun kalemelerde, bilgisayar yazıcılarında ve daktilolarda da kullanılır.

Bir başka kovalent kristal ise kuartzdır (SiO_2). Kuartzda silisyum atomlarının dizilişi karbonun elmastaki dizilişine benzer, ancak her Si ve O elementlerinin elektronegatiflikleri oldukça farklı olduğundan, Si—O bağı polardır. Ne şanstı ki sertlik ve yüksek erime noktası (1610 °C) gibi bir çok özellik açısından SiO_2 elmasa çok benzer.

El lambalarının pillerindeki merkezi elektrot grafitten yapılır.



Kuartz

Moleküler Kristaller

Bir moleküler kristalde, örgü noktaları moleküllerce işgal edilmiş olup, onlar arasındaki çekme kuvvetleri van der Waals kuvvetleri ya da varsa hidrojen bağıdır. Moleküler kristale bir örnek, esas çekim kuvvetinin dipol-dipol etkileşimi olduğu, katı kükürt dioksittir (SO_2). Buzun üç boyutlu örgü yapısının korunmasından moleküller arası hidrojen bağı birinci derecede sorumludur (bak. Şekil 11.12). Moleküler kristallere diğer örnekler I_2 , P_4 ve S_8 'dir.

Genel olarak buz hariç, moleküler kristallerdeki moleküller, boyutları ve şekillerinin izin verdiği ölçüde sık istiflenirler. Kovalent ve iyonik bağlarla karşılaştırıldığında van der Waals ve hidrojen bağları genel olarak daha zayıf olduğundan, moleküler kristaller iyonik ve kovalent kristallere göre daha kolay kırılıp ayrıştırılabilirler. Gerçektende, bir çok moleküler kristal 100°C'nin altında erimektedir.



Kükürt.

1 1A	2 2A																18 8A
Li	Be																
Na	Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9	10	11 1B	12 2B	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga					
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb				

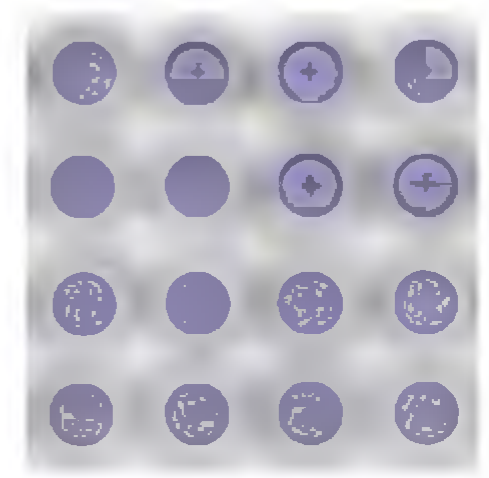
Şekil 11.29 Metallerin kristal yapıları. Metaller periyodik cetveldeki yerlerinde gösterilmiştir. Mn kübik, Ga ortorombik, In ve Sn tetragonal ve Hg rombohedral kristal yapıya sahiptir (bak. Şekil 11.15).

Metalik Kristaller

Kristalin her örgü noktası aynı atom tarafından işgal edildiğinden, bir bakıma metalik kristallerin yapısı tüm kristaller içinde en basit olanıdır denilebilir. Metalik kristaller genellikle iç merkezli kübik, yüzey merkezli kübik veya hegzagonal sıkı istiflenme yapısındadır (Şekil 11.29). Buna bağlı olarak, metalik elementler genellikle çok yoğun maddelerdir.

Metallerdeki bağlanma, diğer tip kristallerde olduğundan çok farklıdır. Bir metalde, bağ elektronları tüm kristal boyunca delokalize olur. Gerçekte, bir kristaldeki metal atomları, delokalize değerlik elektronları denizine daldırılmış pozitif iyonlar olarak farzedilebilir (Şekil 11.30). Bir metalin sağlamlığı, bu delokalizasyondan kaynaklanan büyük kohesif kuvvetin sonucudur. Değerlik elektronlarının hareketli olmaları, metallerin ısı ve elektriği iyi derecede iletmelerini sağlar.

Çizelge 11.4’de dört tip kristalin özellikleri özetlenmektedir.



Şekil 11.30 Bir metalik kristalin kesiti. Daire içine alınmış her + yük, metal atomunun çekirdeği ile iç elektronlarını temsil etmektedir. Bu pozitif metal iyonlarının etrafındaki gri alanlar ise hareketli bir değerlik elektron denizini göstermektedir.

Çizelge 11.4 Kristaller ve genel özellikleri

Kristal tipi	Birim yapıları bir arada tutan kuvvet(ler)	Genel özellikler	Örnekler
İyonik	Elektrostatik çekme	Sert, kırılğan, yüksek kaynama noktası, kötü ısı ve elektrik iletimi	NaCl, LiF, MgO, CaCO ₃
Kovalent	Kovalent bağ	Sert, yüksek kaynama noktası, kötü ısı ve elektrik iletimi	C (elmas), ¹ SiO ₂ (kuartz)
Moleküler*	Dağılma kuvveleri, dipol-dipol etkileşimi, hidrojen bağları	Yumuşak, düşük kaynama noktası, kötü ısı ve elektrik iletimi	Ar, CO ₂ , I ₂ , H ₂ O, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (sukroz)
Metalik	Metalik bağ	Yumuşaktan sert, düşük kaynama, noktasından yüksek kaynama noktasına, iyi ısı ve elektrik iletimi	Tüm metalik elementler Örnek. Na, Mg, Fe, Cu

*Buna tek atomlu kristallerde dahildir.

¹Elmas iyi bir ısı iletkenidir.

Bir Düğme Yüzünden

Temmuz 1812’de Napolyon 600000 kişilik muhteşem bir ordu ile Rusya’ya yürüdü. Aralık başında ise ordusu 10000 kişinin altına düşmüştü. Napolyon’un bu yenilgisi ile ilgili en ilginç teori, askerlerin paltolarındaki kalay düğmelere dayanır. Kalayın iki tane alloptropu vardır. Bunlar α (gri kalay) ve β (beyaz kalay) allotroplarıdır. Kübik yapıda olan ve parlak metalik görünüme sahip olan beyaz kalay, oda sıcaklığında ve üzerinde oldukça kararlıdır. Ancak 13°C ’nin altında yavaş yavaş gri kalaya dönüşmeye başlar. Bu gelişigüzel tetragonal yapıya sahip gri kalay, mikro kristal büyümesiyle metali zayıflatıp toz halinde dökülmesine sebep olur. Muhtemelen Rusya’nın şiddetli kış şartlarında, askerler ellerini silah taşımaktan ziyade paltolarının içinde tutmak için kullanıyorlardı.

Gerçekte, “kalay hastalığı” denen olay yüzyıllardır bilinmektedir. Eski çağların soğuk katedrallerinde, kalaydan yapılan orklar, beyaz kalaydan gri kalaya doğru gerçekleşen allotropik geçişten dolayı pul pul dökülürdü. Napolyon gibi, askerlikte süvari bölüklerinin her an savaşa uygun olması gerektiğine inanan bir komutanın, bu kalay düğmelerin kullanılmasına nasıl izin

verdiğini anlamak çok güçtür. Eğer bu kalay hikâyesi doğruysa, bu hikâye bir İngiliz halk şarkısının sözleri ile çok uyumludur “Bir Düğme Yüzünden”



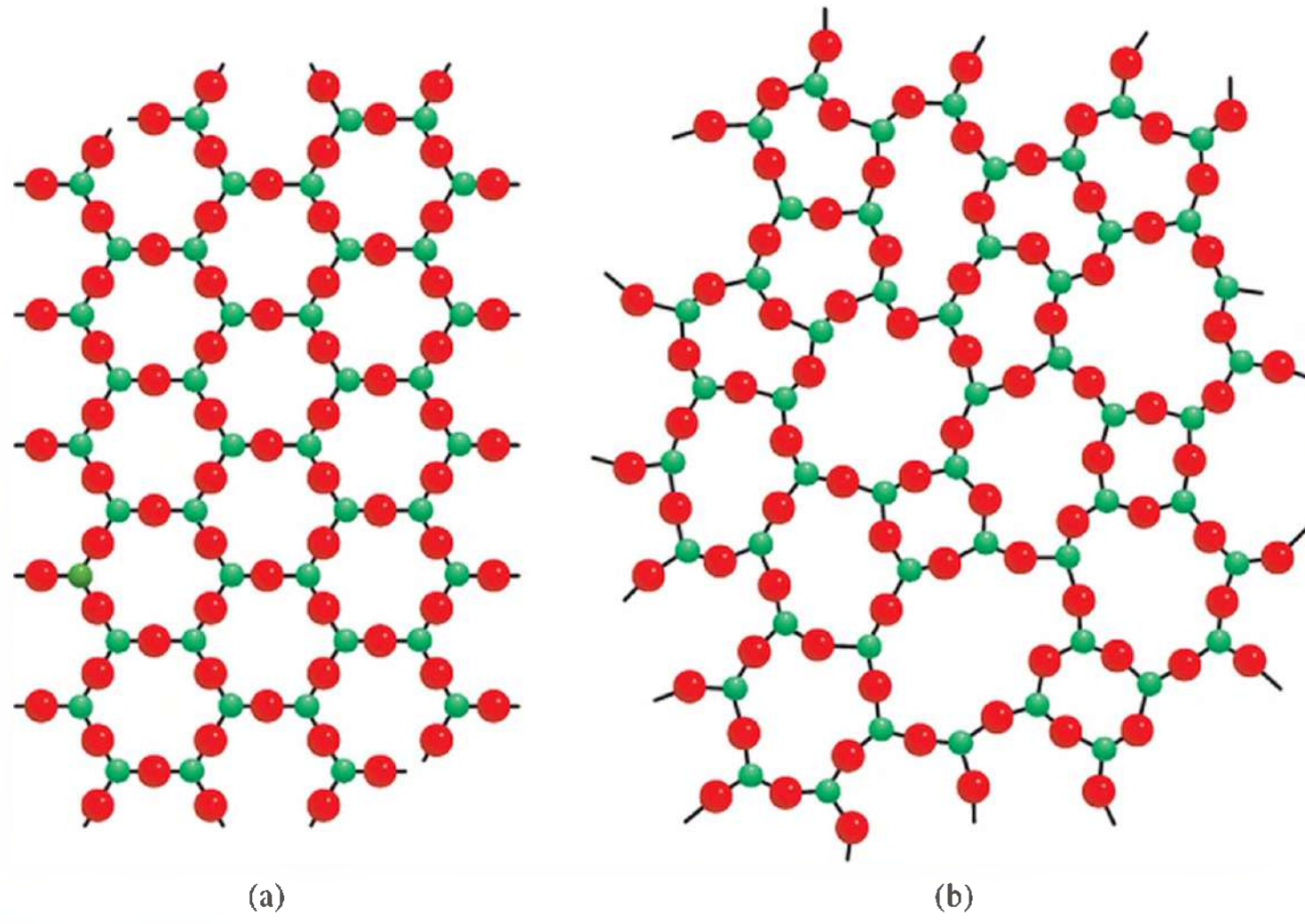
Acaba burada Napolyon askerlerine paltolarını nasıl sıkıca kapatacaklarını mı öğretiyor?

11.7 Amorf Katılar

Katılar kristal hallerinde en kararlıdırlar. Eğer katı hızlı bir şekilde meydana gelirse (örneğin, bir sıvı çok hızlı bir şekilde soğutulursa) atom veya molekülleri düzenli bir kristal yapı oluşturacak zamanı bulamaz. Bu durumda, atom veya moleküller düzgün bir kristal oluşturmaktan ziyade belli konumlarda kilitlenir. Ortaya çıkan bu katıya *amorf* denir. **Amorf katılar**, örneğin cam, *atomların üç boyutlu düzenli yapısından yoksundur*. Bu kısımda camın özelliklerini kısaca tartışacağız.

Cam, uygarlığın en değerli ve en geniş kullanımlı malzemelerinden biridir. En eski cam malzemelerin hikayesi, milattan önce 1000 yıllarına kadar uzanır. **Cam** genellikle “*inorganik maddelerin kristalleme olmadan, doğrudan katı hale soğutulması sonucunda ortaya çıkan, optikçe saydam füzyon ürünüdür*” şeklinde tanımlanır. Füzyon (birleşme) türünden kasıt, camın en temel elementi olan erimiş silisyum dioksitin (SiO_2), sodyum oksit (Na_2O), bor oksit (B_2O_3) ve renk verme ya da diğer özelliklerin kazandırılması amacıyla bazı geçiş elementlerinin oksitleri ile karıştırılmasıdır. Cam bazı açılardan katıdan ziyade bir sıvı gibi davranır. Yapılan X-ışını çalışmaları, camın uzun süreli periyodik bir düzene sahip olmadığını göstermektedir.

Günümüzde yaygın olarak yaklaşık 800 farklı tip cam kullanılmaktadır. Şekil 11.31’de kristal kuartz ve amorf kuartz camların iki boyutlu şematik gösterimi verilmiştir. Çizelge 11.5’de kuartz, pyrex ve soda camlarının bileşimleri ve özellikleri sıralanmıştır.



Şekil 11.31 (a) kristal kuartzın iki boyutlu gösterimi (b) kristal yapıda olmayan kuartz camının iki boyutlu gösterimi. Buradaki küçük küreler silisyumu gösterir. Gerçekte ise kuartzın yapısı üç boyutludur. Her silisyum atomu tetrahedral olarak dört tane O atomuna bağlıdır.

Çizelge 11.5 Üç Farklı Tip Camın Bileşimi ve Özellikleri

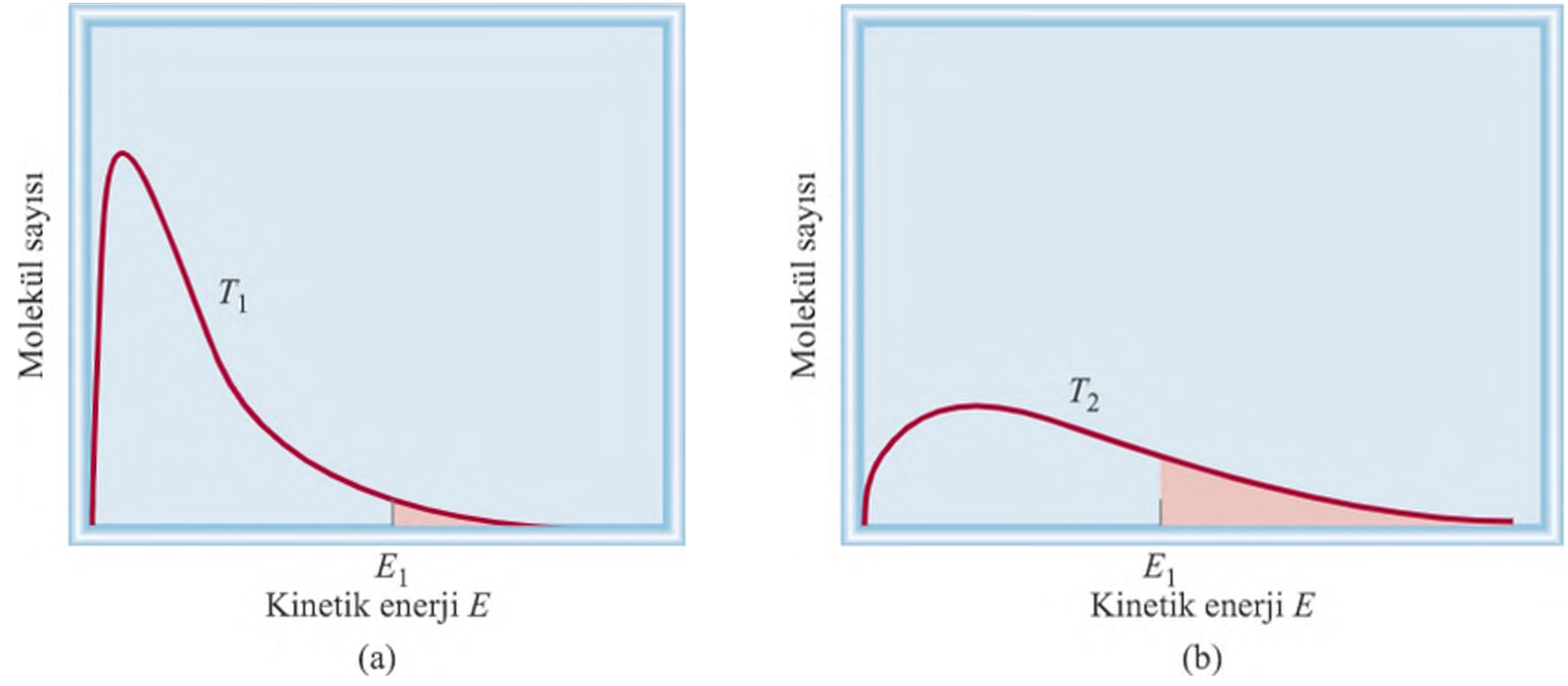
İsmi	Bileşimi	Özellikleri ve kullanımı
Saf kuartz cam	100% SiO_2	Düşük termal genleşme, geniş bir dalga boyu aralığında geçirgenlik. Optik araştırmalarda kullanılır.
Pyrex cam	SiO_2 , %60–80 B_2O_3 , %10–25 Al_2O_3 , küçük miktarda	Düşük termal genleşme, görünür ve kızılötesi dalga boylarını geçirip UV dalga boyunu geçirmez. Genellikle laboratuvarlarda veya mutfak malzemelerinde kullanılır.
Soda camı	SiO_2 , %75 Na_2O , %15 CaO , %10	Kimyasal maddelerden kolaylıkla etkilenir ve termal şoklara hassastır. Görünür ışığı geçirirken UV ışımını soğurur. Pencere camı veya şişe yapımında kullanılır.

Camın rengi içinde bulunan metal iyonlarından (oksitleri olarak) kaynaklanır. Örneğin yeşil cam Fe (III) oksit [Fe_2O_3] veya bakır (II) oksit [CuO] içerir, sarı cam uranyum (IV) oksit [UO_2] içerir, mavimsi cam kobalt (II) oksit [CoO] ve bakır (II) oksit [CuO] içerir, kırmızı cam az miktarda altın ve bakır tanecikleri içerir. Görüldüğü gibi burada bahsedilen iyonların çoğu geçiş elementlerine aittir.

11.8 Faz Değişimleri

5. Bölümde ve bu bölümdeki tartışmalar bize maddenin üç hali olan katı, sıvı ve gaz hallerinin özellikleri hakkında bir bakış açısı verilmiştir. **Faz değişimleri**, yani bir fazdan diğerine geçiş, sisteme enerji (genellikle ısı şeklinde) aktarılması ya da sistemin dışarıya enerji aktarması sonucunda meydana gelir. Faz değişimleri maddenin molekül dizilişindeki değişim ile ortaya çıkan fiziksel değişimlerdir. Moleküller katı halde en yüksek düzene sahipken, gaz fazında gelişmiş güzel bir dağılım gösterir. Enerji değişimiyle molekül düzenliliğinin artması ya da azalması arasındaki ilişkiyi aklınızda tutmanız, faz değişimlerini anlamanızı kolaylaştıracaktır.

Şekil 11.32 (a) düşük bir T_1 ve (b) daha yüksek bir T_2 sıcaklığında moleküllerin kinetik enerji dağılımı. Görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklarda dağılım eğrisi yayvanlaşmaktadır. Taralı alanlar belli bir E_1 kinetik enerjisinden daha yüksek enerjiye sahip olan moleküllerin sayısını göstermektedir. Sıcaklık ne kadar yüksekse bu tip moleküllerin sayısı da artmaktadır.



Sıvı –Buhar Dengesi

Sıvı fazdaki moleküller katı örgü yapısındaki gibi sabit halde değildirler. Bu moleküller her ne kadar gaz moleküllerinde olduğu kadar serbest olmasalar da sürekli hareket halindedirler. Sıvılar gazlardan daha yoğun olduklarından, sıvılardaki moleküller arası çarpışma sayısı gaz fazına göre çok daha fazladır. Bir sıvıdaki moleküller yüzeyden buhar halinde uzaklaşmak için yeterli enerjiye sahip olduklarında, bir faz değişimi olur. *Moleküllerin sıvı fazdan gaz fazına geçmesine buharlaşma* adı verilir.

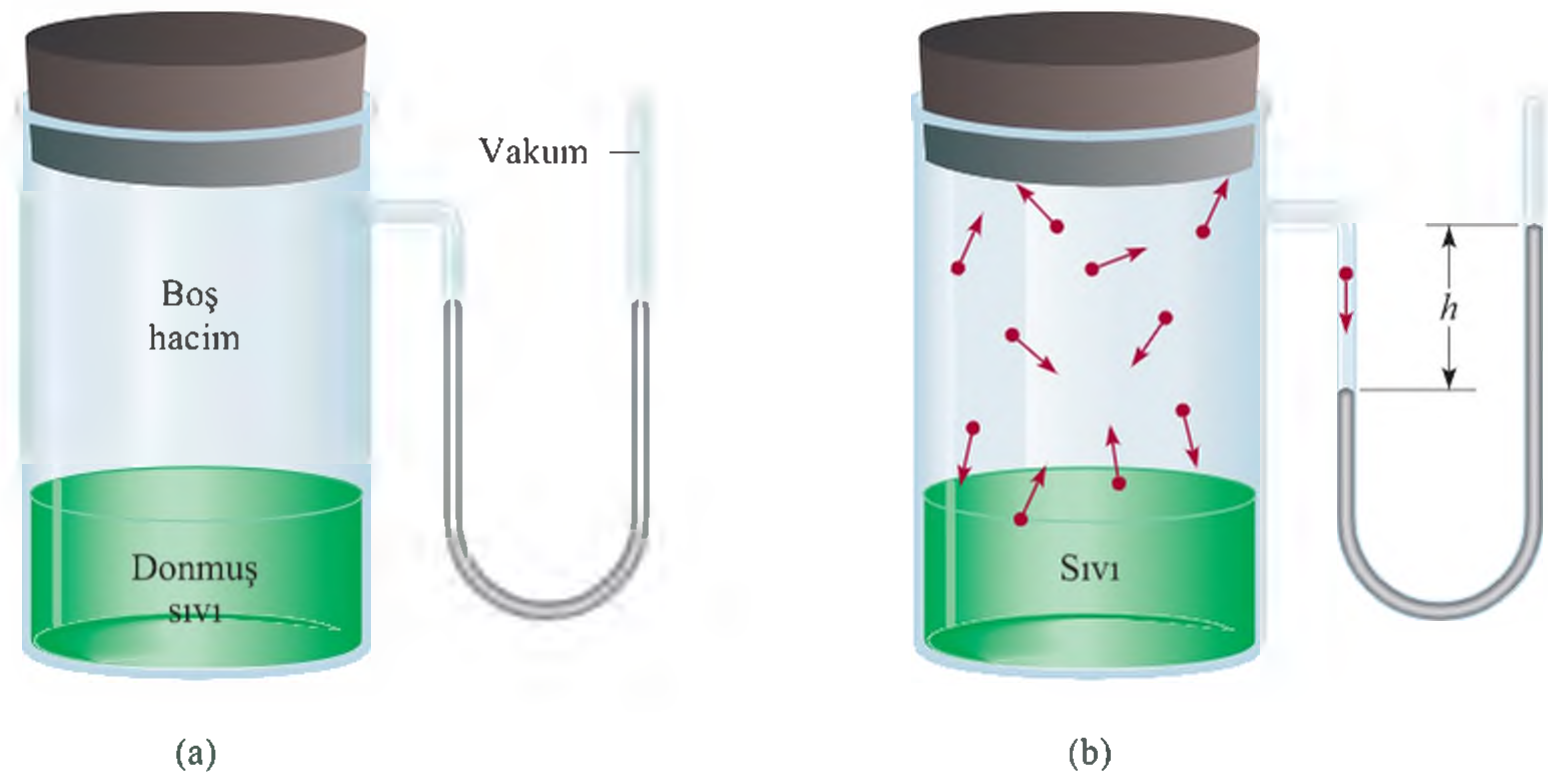
Peki, buharlaşma sıcaklığa nasıl bağlıdır? Şekil 11.32 bir sıvıdaki moleküllerin iki farklı sıcaklıktaki kinetik enerji dağılımını göstermektedir. Görüldüğü gibi sıcaklık ne kadar yüksekse, o kadar fazla sayıda molekül sıvı fazını terk etmektedir.

Bir gaz ile buhar arasındaki fark s. 174'de açıklanmıştır.

Buhar Basıncı

Bir sıvı buharlaşırken, gaz haline geçen molekülleri bir basınç uygular. Şekil 11.33'deki düzeneği göz önüne alalım. Buharlaşma başlamadan önce U-şeklindeki manometrede cıva seviyeleri birbirine eşittir. Moleküller sıvı fazı terk edince bir buhar fazı oluşur. Buhar basıncı ancak yeteri miktarda buhar oluştuğunda ölçülebilir ve cıva seviyesi yükselir. Ancak buharlaşma işlemi sonsuza kadar sürmez. Belli bir süre sonra cıva-daki yükseltme durur ve seviyeleri sabitlenir.

Şekil 11.33 Bir sıvının buhar basıncını ölçmek için kullanılan düzeneği. (a) Başlangıçta sıvı donmuş halde bulunduğu için buhar fazında hiçbir molekül yoktur (b) Ancak bu sistem ısıtılınca donmuş sıvı erir ve sıvı hale geçer. Bunun sonucunda buharlaşma başlar. Manometrenin kolları arasındaki cıva seviyesi farkı (h) o sıvının o sıcaklıktaki denge buhar basıncını verir.



Buharlaştırma sırasında moleküller düzeyde neler olur? Başlangıçta tek yönlü bir akış vardır. Yani moleküller sıvı yüzeyinden boşluğa doğru hareket ederler. Bir süre sonra sıvı üzerindeki boşlukta buhar fazı oluşur. Buhar fazındaki moleküllerin derişimi arttıkça, bazı gaz molekülleri tekrar sıvı faza geri dönerler yani *yoğunlaşırlar*. **Yoğunlaşma**, *gaz fazından sıvı faza olan değişim olarak tanımlanır* ve bu dönüşüm sıvı yüzeye geri dönen moleküllerin sıvıdaki moleküller arası kuvvetler tarafından çekilmesinden kaynaklanır.

Herhangi bir sıcaklıkta buharlaştırma hızı sabittir. Yoğunlaşma hızı ise buhar fazındaki molekül derişimi arttıkça artar. *Yoğunlaşma ve buharlaştırma hızları birbirine eşit olduğunda, buharlaştırma ve yoğunlaşmanın yani ileri ve geri yöndeki dönüşümün tam olarak dengelendiği dinamik denge* durumuna ulaşılır (Şekil 11.34). *Dinamik denge koşullarında ölçülen buhar basıncına denge buhar basıncı* adı verilir. Denge buhar basıncını belirtmek amacıyla basitçe “buhar basıncı” deyiimi de kullanılır. Bu kısaltılmış deyiimi, anlamını bilmemiz koşuluyla, kullanmamızda bir sakıncası yoktur.

Denge buhar basıncı, bir sıvının belli bir sıcaklıktaki *maksimum* buhar basıncıdır. Bu basınç sıcaklık sabit kaldıkça sabittir (biraz sıvı bulunduğu sürece, bu sıvı miktarına bağlı olmaksızın sabittir). Şu ana kadar öğrendiklerimize göre, buhar basıncının sıcaklık arttıkça artması beklenir. Şekil 11.35’de verilen üç ayrı sıvının, sıcaklık ile buhar basıncı grafiği bu öngörüü doğrulamaktadır.

Buharlaştırma Isısı ve Kaynama Noktası

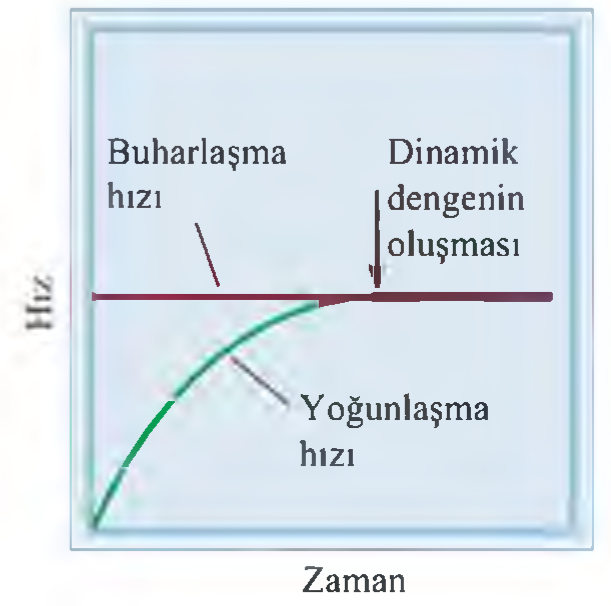
Sıvı içindeki moleküllerin moleküller arası kuvvetlerce ne kadar güçlü tutulduğunun bir ölçütü *molar buharlaştırma ısıdır* (ΔH_{buh}). Molar buharlaştırma ısısı, *bir mol sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan enerji* miktarı olarak tanımlanır (genellikle kJ biriminde) ve sıvıdaki moleküller arası kuvvetlerin büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Eğer bir sıvıdaki moleküller arası çekim kuvvetleri çok büyükse, molekülleri sıvı fazdan ayırmak, yani buharlaştırmak için çok fazla enerji gerekecektir. Böyle bir sıvının buhar basıncı oldukça düşük olur, dolayısıyla molar buharlaştırma ısısı da oldukça yüksektir.

Daha önceki tartışmalarımıza göre, Şekil 11.35’de gösterildiği gibi, artan sıcaklıkla denge buhar basıncının artması gerekmektedir. Buhar basıncı P ile mutlak sıcak-

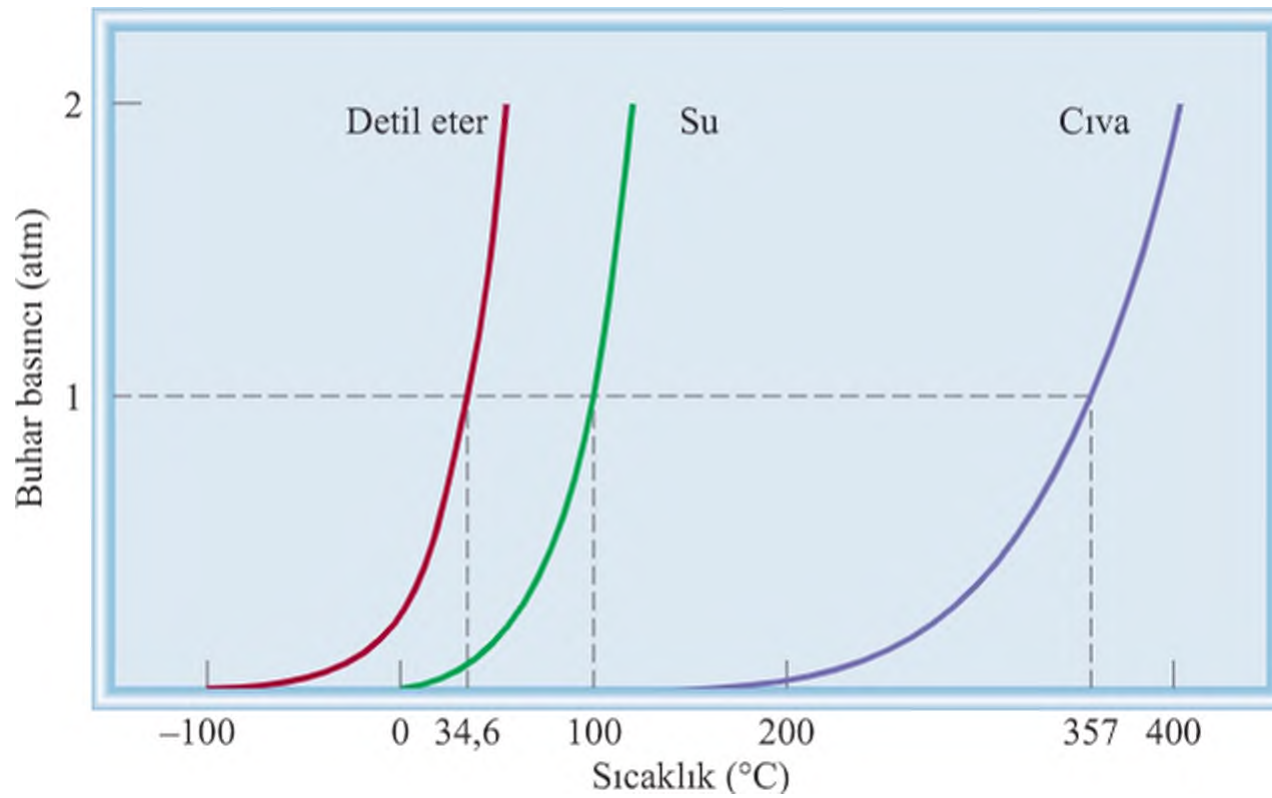
Denge buhar basıncı, biraz sıvı bulunduğu sürece, bu sıvının miktarından bağımsızdır.

Animasyon
Denge Buhar Basıncı

Animasyon
Dinamik Denge



Şekil 11.34 Sabit sıcaklıkta sistem dengeye gelirken, buharlaştırma ve yoğunlaşma hızlarının karşılaştırılması.



Şekil 11.35 Üç farklı sıvının buhar basınçlarının sıcaklıkla artma eğrileri. Bu sıvıların normal kaynama noktaları (1 atm'de) yatay kink çizgi ile gösterilmiştir. Cıva atomları arasındaki kuvvetli metalik bağlar, cıvanın oda sıcaklığında çok düşük bir buhar basıncına sahip olmasına neden olmuştur.

Çizelge 11.6 Bazı Sıvıların Molar Buharlaşma Isıları

Madde	Kaynama Noktası* (°C)	ΔH_{buh} (kJ/mol)
Argon (Ar)	-186	6,3
Benzen (C_6H_6)	80,1	31,0
Dietil eter ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$)	34,6	26,0
Etano ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	78,3	39,3
Cıva (Hg)	357	59,0
Methan (CH_4)	-164	9,2
Su (H_2O)	100	40,79

*1 atm'de ölçülmüştür

lık T arasındaki bağıntı, Clausius¹ - Clapeyron¹ eşitliği ile verilmiştir.

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{RT} + C \quad (11.2)$$

Burada \ln doğal logaritmayı, R gaz sabitini (8,314 J/K·mol) ve C bir sabiti göstermektedir. Clasius-Clapeyron eşitliği, $y = mx + b$ şeklinde doğrusal bir eşitlik halinde ifade edilebilir:

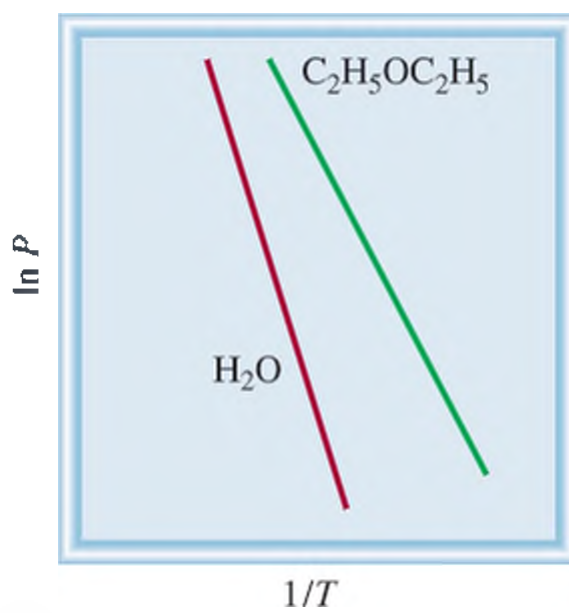
$$\begin{array}{ccccccc} \ln P & = & \left(-\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \right) & \left(\frac{1}{T} \right) & + & C \\ \updownarrow & & \updownarrow & \updownarrow & & \updownarrow \\ y & = & m & x & + & b \end{array}$$

Eğer bir sıvının farklı sıcaklıklardaki (bak. Şekil 11.35) buhar basınçları ölçülüp $\ln P$ değerleri $1/T$ değerlerine karşı grafiğe geçirilirse, elde edilen bu doğrunun eğimi $-\Delta H_{\text{buh}}/R$ olur (ΔH_{buh} sıcaklıktan bağımsız kabul edilir). Bu yöntem kullanılarak bir sıvının molar buharlaşma ısı belirlenebilir. Şekil 11.36'da, su ve dietil eter için çizilen $1/T$ 'ye karşı $\ln P$ grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi, su daha büyük ΔH_{buh} değerine sahip olduğundan (Çizelge 11.6), su için elde edilen doğru eğimi daha diktir.

Sıvının belli bir sıcaklıktaki ΔH_{buh} ve P değerlerini biliyorsak, herhangi bir farklı sıcaklıktaki buhar basıncını Clasius- Clapeyron eşitliğini kullanarak kendimiz hesaplayabiliriz. Örneğin, T_1 ve T_2 sıcaklıklarında buhar basınçları P_1 ve P_2 olan bu sıvı için, eşitlik 11.2'den aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$\ln P_1 = -\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{RT_1} + C \quad (11.3)$$

$$\ln P_2 = -\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{RT_2} + C \quad (11.4)$$



Şekil 11.36 Su ve dietil eter için $1/T$ 'ye karşı $\ln P$ grafiği. Her iki çizginin eğimide, $-\Delta H_{\text{buh}}/R$ 'dir.

¹Rudolf Julius Emanuel Clausius(1822-1888). Alman fizikçi. Clausius temel olarak elektrik, gazların kinetik teorisi ve termodinamik üzerine çalışmıştır.

¹Benoit Paul Émile Clapeyron (1799-1864). Fransız mühendis. Buhar makinelerinin termodinamiğine katkıda bulunmuştur.

Eğer 11.4 denklemini. 11.3 denkleminde çıkarırsak:

$$\begin{aligned}\ln P_1 - \ln P_2 &= -\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{RT_1} - \left(-\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{RT_2}\right) \\ &= \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\end{aligned}$$

Buradan.

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

ya da,

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}\right) \quad (11.5)$$

bulunur.

Örnek 11.7’de Eşitlik 11.5’in nasıl kullanılacağı gösterilmektedir.

Örnek 11.7

Dietil eter, son derece parlayıcı ve yanıcı bir organik sıvı olup genellikle çözücü olarak kullanılmaktadır. Dietil eterin 18°C’deki buhar basıncı 401 mmHg’dır. Dietil eterin 32°C’deki buhar basıncını hesaplayınız.

İzlenecek Yol Bize dietil eterin belli bir sıcaklıktaki buhar basıncı verilmiş ve bir başka sıcaklıktaki buhar basıncı soruluyor. Dolayısıyla (11.5) denklemini kullanacağız.

Çözüm Çizelge 11.6’dan $\Delta H_{\text{buh}} = 26,0 \text{ kJ/mol}$. Veriler şunlardır:

$$\begin{aligned}P_1 &= 401 \text{ mmHg} & P_2 &= ? \\ T_1 &= 18^\circ\text{C} = 291 \text{ K} & T_2 &= 32^\circ\text{C} = 305 \text{ K}\end{aligned}$$

11.5 denklemini kullanalım:

$$\begin{aligned}\ln \frac{401}{P_2} &= \frac{26000 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}} \left[\frac{291 \text{ K} - 305 \text{ K}}{(291 \text{ K})(305 \text{ K})} \right] \\ &= -0,493\end{aligned}$$

Her iki tarafında anti-logaritmasını alırsak (bir hesap makinesi veya Ek 2 yardımıyla)

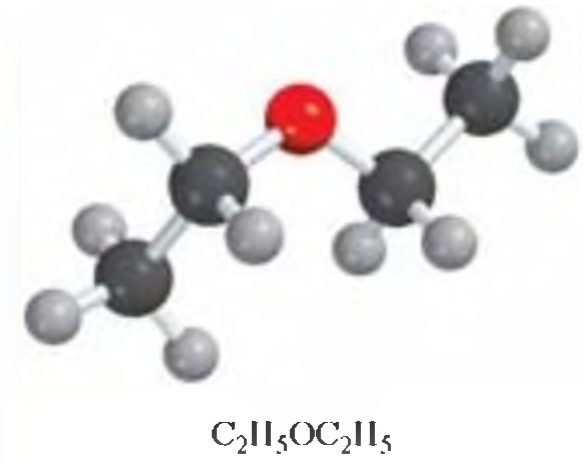
$$\frac{401}{P_2} = e^{-0,493} = 0,611$$

Buradan:

$$P_2 = 656 \text{ mmHg} \quad \text{bulunur.}$$

Kontrol Yüksek sıcaklıklarda buhar basıncının daha yüksek olmasını beklediğimizden, bulunan sonuç mantıklıdır.

Alıştırma Etanolün 34,9 °C’deki buhar basıncı 100 mmHg’dır. 63,5°C’deki buhar basıncı nedir? (etanolin ΔH_{buh} değeri 39,3 kJ/mol)



Benzer problem: 11.84.

Molar buharlaşma ısısının etkisini fark etmenin pratik yollarından birisi, ellerimizi etanol (C2H5OH) veya izopropil alkol (C3H7OH) gibi bir alkol ile ovalamaktır. Bu alkol-ler sudan daha az ΔH_{buh} değerlerine sahip olduklarından, ellerimizin ısısı bu alkol mo-

leküllerinin kinetik enerjilerini artırıp buharlaşmalarını sağlamak için yeterlidir. Ellerimizden alkole aktarılan ısı ile alkol hızla buharlaşırken, gereken ısıyı ellerimizden çekerek onları serinletir. Bu olay vücudun ısını muhafaza etmek için kullandığı terleme mekanizmasına çok benzer. Sudaki kuvvetli hidrojen bağlarından dolayı, terdeki suyun vücut yüzeyinden buharlaştırılması için oldukça büyük bir enerji gerekir. Bu enerji vücuttaki çeşitli metabolik işlemlerle sağlanır.

Bir sıvının buhar basıncının sıcaklıkla arttığını biliyoruz. Her sıvının belirli bir kaynama sıcaklığı vardır ve buna kaynama noktası denir. **Kaynama noktası** bir sıvının buhar basıncının, üzerindeki dış basınca eşit olduğu sıcaklıktır. Bir sıvının normal kaynama noktası ise dış basıncın 1 atm olduğu durumdaki kaynama sıcaklığıdır.

Kaynama noktasında sıvı içinde kabarcıklar oluşur. Bu kabarcıklar o bölgedeki sıvıyı iterek kendilerine yer açmaya çalışırlar ve kap içindeki sıvı seviyesi yükselmeye zorlanır. Kabarcık üzerine etkiyen basınç büyük oranda atmosfer basıncı ve bir miktar da sıvı basıncıdır (*hidrostatik basınç*). Kabarcık içindeki basınç ise yalnızca sıvının buhar basıncından kaynaklanır. Buhar basıncı dış basınca eşit olduğundan, kabarcık yüzeye çıkar ve patlar. Eğer kabarcık içindeki buhar basıncı dış basınçtan küçükse, kabarcık yüzeye yükselmeden yok olur. Bu açıklamalardan kaynama noktasının dış basınca bağlı olduğunu sonucuna varabiliriz. (Genellikle sıvı basıncının yaptığı küçük katkı ihmal edilir). Örneğin, 1 atm dış basınçta su 100°C’de kaynarken, dış basıncın 0,5 atm’e düşürülmesi halinde kaynama noktası 82°C’ye düşer.

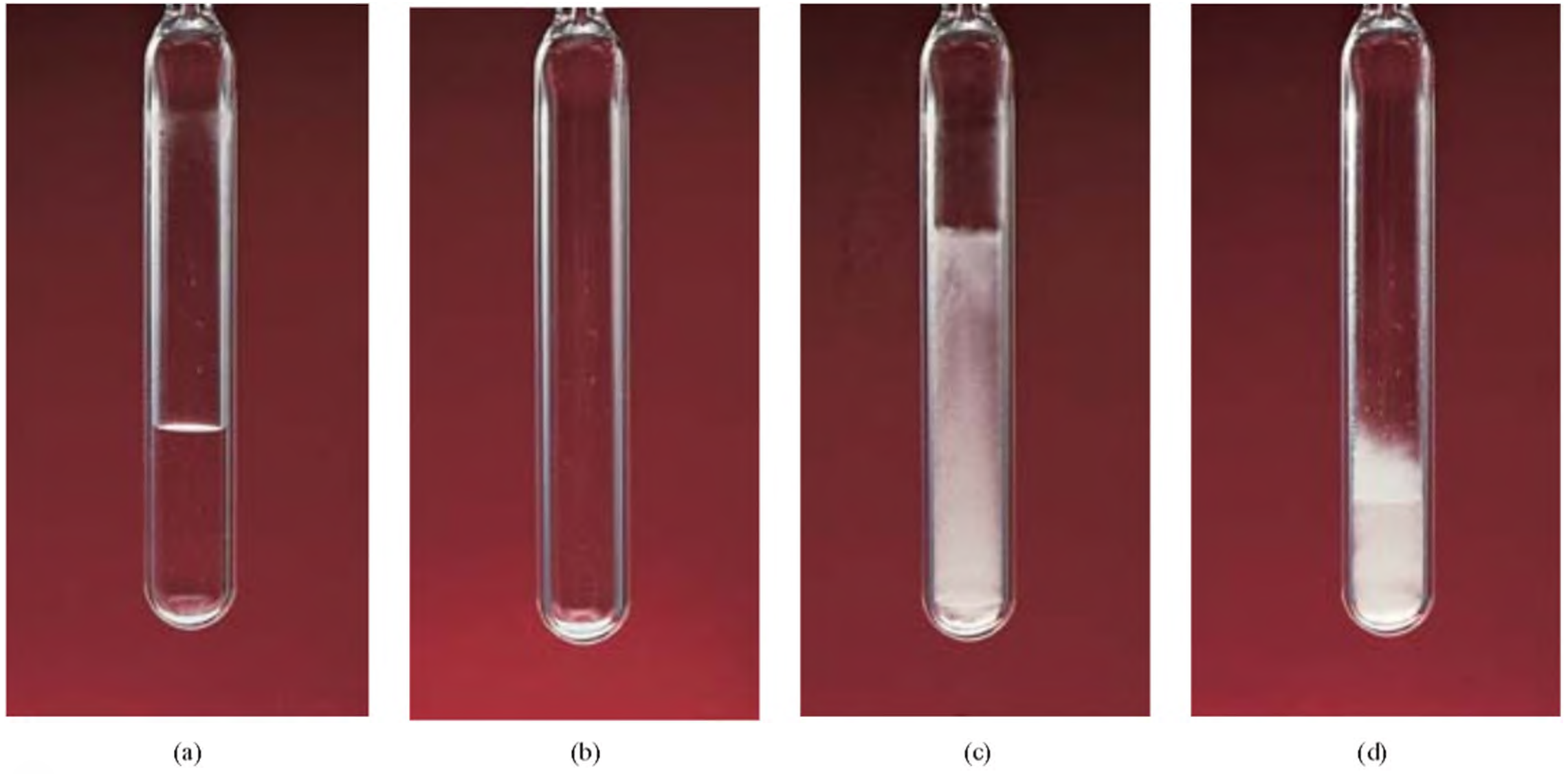
Kaynama noktası sıvının buhar basıncı ile ilişkili olduğuna göre, molar buharlaşma ısıyla da ilişkili olmasını bekleriz. Yani, ΔH_{buh} ne kadar büyükse kaynama noktası da o kadar yüksektir. Çizelge 11.6’de verilen molar buharlaşma entalpisi ile kaynama noktaları arasındaki bağıntı bu beklentiyi doğrulamaktadır. Hem kaynama noktaları hem de ΔH_{buh} değerleri moleküller arası kuvvetler ile artmaktadır. Örneğin, zayıf dağılma kuvvetlerine sahip olan argon (Ar) ya da metan (CH_4) düşük kaynama noktaları ve buharlaşma ısılarına sahiptir. Dietil eter ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) molekülü dipol momente ve dipol-dipol kuvvetlerine sahip olduğundan, kaynama noktası ve molar buharlaşma ısı ortalı büyüklüktedir. Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ve su, kuvvetli hidrojen bağları içerdiğinden, bu maddelerin kaynama noktaları ve ΔH_{buh} değerleri yüksektir. Cıvadaki kuvvetli metalik bağlar, verilen bu sıvılar içinde en yüksek kaynama noktası ve ΔH_{buh} değerlerine sahip olmasına neden olmuştur. Polar olmayan benzenin, etanolün kaynama noktasına yakın bir kaynama noktasına sahip olması ise ilginçtir. Bunun nedeni benzenin delokalize π molekül orbitallerinden dolayı yüksek polarizlenebilirliği ve benzen molekülleri arasındaki dağılma kuvvetlerinin dipol-dipol kuvvetleri ve/veya hidrojen bağları kadar hatta daha da kuvvetli olabilmesidir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Bir öğrenci iki ayrı organik sıvı olan metanol (CH_3OH) ve dimetil eter (CH_3OCH_3) için $\ln P$ ve $1/T$ değerlerini aynen Şekil 11.36’daki gibi grafiğe geçirmiş, bu eğrilerin eğimini de sırasıyla $-2,32 \times 10^5 \text{ K}$ ve $-4,50 \times 10^5 \text{ K}$ olarak bulmuştur. Öğrenci bu iki bileşiğin ΔH_{buh} değerlerini nasıl belirleyebilir?

Kritik Sıcaklık ve Basınç

Buharlaşmanın tersi yoğunlaşmadır ve bir gazı sıvılaştırmanın iki yolu vardır. Birincisi, gazın soğutulmasıyla moleküllerin kinetik enerjilerinin düşürülmesi ve böylece gaz moleküllerinin bir araya gelerek küçük sıvı damlacıkları şeklinde yoğunlaşmasının sağlanması.



Şekil 11.37 Kükürt tetraflorürün kritik değişimi (a) Kritik sıcaklığın altında sıvı temiz ve berrak şekilde görünür. (b) Kritik sıcaklığın üstünde sıvı faz yok olur. (c) madde tekrar kritik sıcaklığın altına soğutuluyor. Buradaki sis buharın yoğunlaştığını gösteriyor (d) sonunda sıvı faz tekrar ortaya çıkıyor

sıdır. Diğer yöntem ise gazlara basınç uygulanarak moleküller arası mesafenin azaltılması ve moleküller çekim kuvvetlerini artırılarak yoğunlaşmasının sağlanmasıdır. Sanayideki sıvılaştırma işlemi bunların bileşimini içermektedir.

Her bileşiğin, uygulanan basınç ne kadar yüksek olursa olsun gaz fazının üzerinde sıvılaştırılmadığı bir **kritik sıcaklık** (T_k) değeri vardır. Bu ayın zamanda bir maddenin sıvı halde bulunabileceği en yüksek sıcaklıktır ve bu sıcaklığın üzerindeki gaz sıvılaştırılmaz. Başka bir deyişle, kritik sıcaklığın üzerindeki maddelerde gaz ile sıvı arasında bir ayrımı yoktur ve bu durumda basitçe akışkana sahip oluruz. Kritik sıcaklıkta sıvılaştırmanın sağlanabileceği en düşük basınçta da **kritik basınç** (P_k) denir. Kritik sıcaklık nicel olarak şöyle açıklanabilir. Herhangi bir bileşikte moleküllerarası kuvvetler bellidir ve T_k değerinin altında molekülleri sıvı halde bir arada tutmaya yeterlidir (uygun basınç altında). T_k 'nin üstünde ise moleküller öylesine hareketlidir ki, bu çekim kuvvetlerini kolaylıkla yenebilir. Şekil 11.37' de kükürt heksaflorürün kritik sıcaklığı olan $45,5^\circ\text{C}$ 'nin üzerine kadar ısıtılması ve daha sonra $45,5^\circ\text{C}$ 'nin altına kadar soğutulması durumunda ne olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 11.7'de çok kullanılan bazı maddelerin kritik sıcaklıklarıyla kritik basınçları verilmektedir. Moleküller arası kuvvetleri oldukça güçlü olan benzen, etanol, cıva ve su gibi maddelerin diğer maddelere göre daha yüksek kritik sıcaklıklara sahip olduğu görülmektedir.

Sıvı-Katı Dengesi

Sıvının katıya dönüşümüne *donma*, bunun tersine ise *erime* adı verilir. Bir katının *erime noktası* ya da bir sıvının *donma noktası* katı ve sıvı fazlarının beraberce dengede bulundukları sıcaklıktır. Bir maddenin normal erime noktası (ya da normal donma noktası) 1 atm basınç altında ölçülen erime noktası (ya da donma noktası) dır.

Moleküller arası kuvvetler sıcaklığa bağlı değildir. Sıcaklık sadece moleküllerin kinetik enerjisini artırır.

"Füzyon" erime sürecini ifade eder. Aynı şekilde, bir elektrik sigortası(fuse), devreden yüksek akım geçtiğinde, içindeki metal erir ve sigorta atar.

Çizelge 11.7

Bazı Maddelerin Kritik Sıcaklıkları ve Kritik Basınçları

Madde	T_k (°C)	P_k (atm)
Ammonia (NH ₃)	132,4	111,5
Argon (Ar)	-186	6,3
Benzen (C ₆ H ₆)	288,9	47,9
Karbondiyoksit (CO ₂)	31,0	73,0
Dietil eter (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	192,6	35,6
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	243	63,0
Cıva (Hg)	1462	1036
Metan (CH ₄)	-83,0	45,6
Moleküler hidrojen (H ₂)	-239,9	12,8
Moleküler azot (N ₂)	-147,1	33,5
Moleküler oksijen (O ₂)	-118,8	49,7
Kükürt heksaflorür (SF ₆)	45,5	37,6
Su (H ₂ O)	374,4	219,5

Ancak, 1 atm basınçtaki donma ya da kaynama noktalarından bahsederken genellikle “normal” sözcüğünü söylemeyiz.

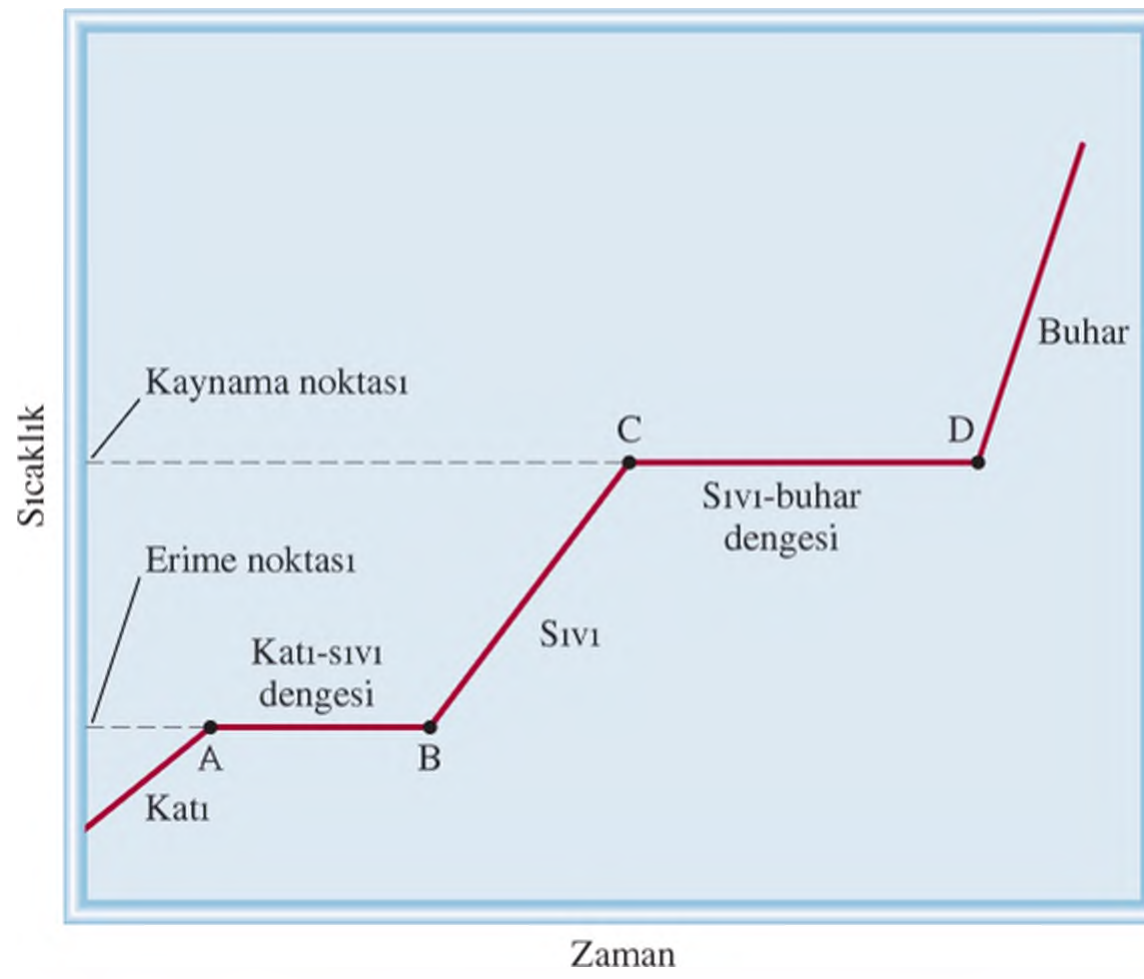
Bizim en tanıdık olduğumuz sıvı-katı dengesi su ile buz arasında olandır. 0 °C sıcaklık ve 1 atm basınç altında su ile buz arasındaki dinamik denge



şeklinde gösterilir. Bu dengenin en pratik gösterimini bir bardak buzlu sudur. Burada, bir kısım buz kalıpları su oluşturmak üzere erirken, bir miktar suda donarak buz kalıplarına eklenir. Ancak buz-su içeren sistem, bardak 0°C de tutulmadığı sürece gerçek bir dinamik denge değildir ve sonuçta buz kalıplarının hepsi erir.

Şekil 11.38’de bir madde ısı soğurdukça sıcaklığının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Görüldüğü gibi katı ısıtıldıkça sıcaklık artmakta ve sonunda erime noktasına erişilmektedir. Bu noktada ortalama kinetik enerji, katı moleküllerini bir arada tutan moleküller arası kuvvetleri yenecek kadar büyük olmaktadır. Soğurulan ısı gittikçe katıdaki fazla sayıdaki molekülü birbirinden uzaklaştırmakta ve katı halden sıvı hale geçiş başlamaktadır. Buradaki bu geçiş sırasında (A → B) ortalama kinetik enerji değişmediğinden sıcaklıkta sabit kalır. Madde tamamen eridikten sonra sıcaklık kaynama noktasına erişinceye kadar (B → C) artar. Bundan sonra soğurulan ısı sıvıları bir arada tutan moleküllerarası kuvvetleri kırmak için kullanılır ve madde sıvı halinden buhar haline geçmeye başlar (C → D). Bu sırada da sıcaklık sabit kalır. Buharlaşıma bittikten sonrada ısı verilmeye devam edilirse, buharın sıcaklığı artmaya başlar.

Molar erime ısısı (ΔH_{eri}), 1 mol katıyı eritmek için gerekli olan enerji (genellikle kJ cinsinden) miktarıdır. Çizelge 11.6’da verilen maddelerin molar erime ısıları Çizelge 11.8’de, sıralanmıştır. Bu iki çizelgede ki verilere bakınca ΔH_{eri} değerlerinin ΔH_{buh} değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Bu husus, sıvı haldeki mole-



Şekil 11.38 Bir maddenin katı halden sıvı ve buhar haline kadar ısınma eğrisi. ΔH_{eri} değeri ΔH_{don} değerinden daha küçük olduğundan, maddenin erime süresi kaynama süresinden daha kısadır. Bu durum AB'nin CD'den neden daha kısa olduğunu açıklamaktadır. Katı, sıvı ve gaz ısınma çizgilerinin dikliği, maddenin her fazdaki öz ısısına bağlıdır.

Çizelge 11.8 Bazı Maddeler İçin Molar Erime Isıları

Madde	Erime Noktası* (°C)	ΔH_{eri} (kJ/mol)
Argon (Ar)	-190	1,3
Benzen (C_6H_6)	5,5	10,9
Dietil eter($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$)	-116,2	6,90
Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	-117,3	7,61
Cıva (Hg)	-39	23,4
Methan (CH_4)	-183	0,84
Su (H_2O)	0	6,01

**1 atm'de ölçülen değer.

küllerin halen sık istiflendiği, katı halden sıvı hale geçerken yeniden düzenlenme için enerji gerekeceği tahmini ile uyumludur. Diğer yandan, sıvı halden buhar haline geçerken moleküller tamamen birbirinden ayrılmakta ve bunu sağlamak için çekim kuvvetlerini yenmek gerekeceğinden, çok daha fazla enerji gerekmektedir.

Talimin edebileceğimiz gibi bir maddeyi *soğutmak* ısıtmanın tam tersi bir etki yapar. Kararlı haldeki bir gaz numunesinden ısı uzaklaştırdığımızda, sıcaklığı düşmeye başlar. Bu sırada yoğunlaşmadan dolayı sıvı oluşurken, potansiyel enerjisi azaldığından sistem dışarıya ısı verir. Bundan dolayı, sıcaklık tüm yoğunlaşma süresince sabit kalır ($D \rightarrow C$). Tüm buhar yoğunlaştıktan sonra sıcaklık düşmeye başlar. Isı uzaklaştırılmaya devam edilirse donma noktasına gelinir ($B \rightarrow A$).

Süper soğuma olarak bilinen bir olayda madde *geçici olarak donma noktasının altındaki sıcaklıklarda sıvı halini muhafaza eder*. Süper soğuma, ısının çok hızlı bir şekilde uzaklaştırılıp, moleküllerin katının o düzenli yapısına ulaşmak için zaman bulamamasından kaynaklanır. Süper soğumuş sıvı kararsız bir hal olup, sistem hafifçe karıştırıldığında veya aynı maddenin çok az bir “çekirdek” kristali eklendiğinde, sıvı hızla katılaşır.

Katı-Buhar Dengesi

Katılar da buharlaşabilirler ve bundan dolayı buhar basıncına sahiptirler. Aşağıdaki dinamik dengeyi düşünelim.



Katı iyot buharı ile denge halinde

Moleküllerin doğrudan katı fazdan buhar fazına geçmesine **süblimleşme**, bunun tersine ise (buhardan katıya geçme) **kırağılaşma** denir. Naftalin (güve ilacı yapmakta kullanılan bileşik) bir katı için oldukça yüksek buhar basıncına sahiptir (53 °C’de, 1 mmHg). Bundan dolayı naftalinin keskin kokusu bulunduğu bölgeyi hemen sarar. İyot aynı şekilde kolayca süblimleşen bir maddedir. Oda sıcaklığında kapalı bir kapta buharlaşan iyotun mor rengi net bir şekilde görülebilir.

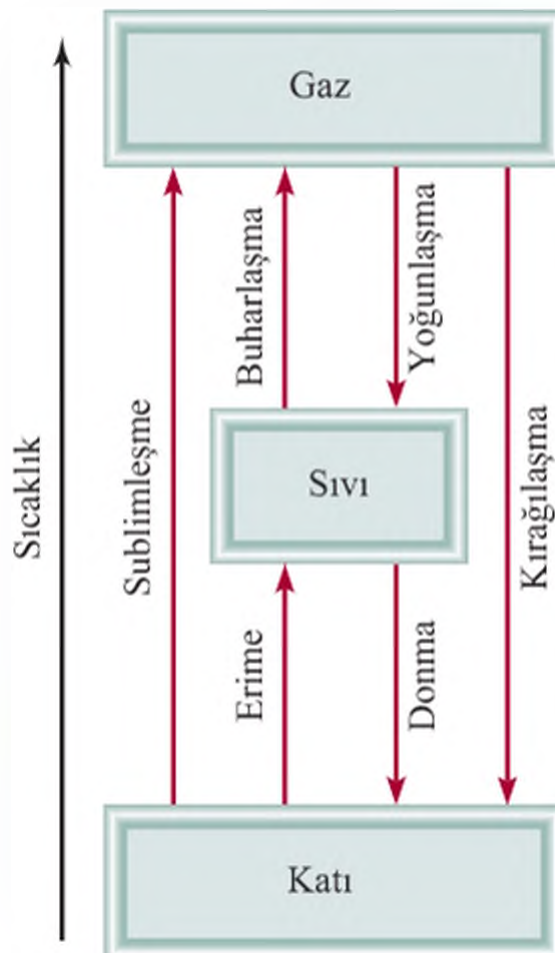
Katılarda genel olarak moleküller çok daha sıkı tutulduğundan, katının buhar basıncı sıvısından çok daha düşüktür. Bir maddenin **molar süblimleşme ısı** ($\Delta H_{\text{süb}}$), 1 mol katının süblimleşmesi için gerekli olan enerjidir (genellikle kJ cinsinden). Molar süblimleşme ısı, erime ve buharlaşma ısılarının toplamıdır.

$$\Delta H_{\text{süb}} = \Delta H_{\text{eri}} + \Delta H_{\text{buh}} \quad (11.6)$$

Yukarıda verilen 11.6 eşitliği Hess yasasının (Kesim 6.6) gösterimidir. Madde ister doğrudan katıdan buhara geçsin, isterse önce katıdan sıvıya sonra buhara geçsin, toplam işlemde entalpi ya da ısı değişimi aynıdır. 11.6 eşitliği tüm faz değişimleri aynı sıcaklıkta olması durumunda geçerlidir. Eğer aynı fazda değilseler bu eşitlik sadece yaklaşık hesaplama için kullanılabilir.

Şekil 11.39 yukarıda tartışılan faz değişimlerini özetlemektedir.

Bir madde ısıtılırsa sıcaklığı artar ve sonunda faz değişimine uğrar. Bu işlemde toplam enerji değişimini hesaplamak için Örnek 11.8’de gösterildiği gibi tüm basamakları göz önüne almamız gerekir.



Şekil 11.39 Maddenin olabilecek çeşitli faz değişimleri.

Örnek 11.8

346 gram sıvı suyu 0 °C’den 182 °C’ye çıkartmak için gerekli olan enerjiyi kJ cinsinden hesaplayınız. Suyun özgül ısısının tüm sıvılaşma sürecince 4.184 J/g·°C ve kızgın buharın özgül ısısının da 1.99J/g·°C olduğunu kabul ediniz.

İzlenecek Yol Her basamaktaki ısı değişimi (q), $q = ms\Delta t$ (bak. s.247) eşitliği ile verilir. Burada m kütleyi, s özgül ısıyı Δt ise sıcaklık değişimini göstermektedir. Eğer bir faz değişimi varsa (örneğin buharlaşma gibi), bu basamakta $q = n\Delta H_{\text{faz}}$ eşitliği kullanılır. Burada n suyun mol sayısıdır.

Çözüm Bu problem için yapılacak hesaplamalar üçe aşamaya ayrılabilir:

Adım 1: Suyun 0°C’den 100°C’ye ısıtılması

(6.12) denkleminde aşağıdaki hesaplamayı yapabiliriz:

$$\begin{aligned} q_1 &= ms\Delta t \\ &= (346 \text{ g})(4,184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C})(100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \\ &= 1,45 \times 10^5 \text{ J} \\ &= 145 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(Devamı)

Adım 2: 100 °C'de 346 g suyun buharlaştırılması

Çizelge 11.6'da su için $\Delta H_{buh} = 40.79$ kJ/mol olarak verilmektedir.

$$q_2 = 346 \text{ g-H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol-H}_2\text{O}}{18,02 \text{ g-H}_2\text{O}} \times \frac{40.79 \text{ kJ}}{1 \text{ mol-H}_2\text{O}} \\ = 783 \text{ kJ}$$

Adım 3: 100°C'deki kızgın buharın 182°C'ye çıkarılması

$$q_3 = ms\Delta t \\ = (346 \text{ g})(1,99 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C})(182^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}) \\ = 5,65 \times 10^4 \text{ J} \\ = 56,5 \text{ kJ}$$

Bu işlem için gerekli toplam enerji şöyle verilir:

$$q_{\text{toplam}} = q_1 + q_2 + q_3 \\ = 145 \text{ kJ} + 783 \text{ kJ} + 56,5 \text{ kJ} \\ = 985 \text{ kJ}$$

Kontrol Tüm q değerleri pozitif çıkmıştır. Bu durum sıcaklığın 0°C'den 182 °C'ye çıkarılması ile ısıtımın soğurulduğu gerçeği ile uyum içindedir.

Alıştırma 124 °C'deki 68,0 g kızgın buharın 45°C'deki suya dönüştürülmesi durumunda salınan ısıyı hesaplayınız.

Benzer problem: 11.76.

11.9 Faz Diyagramları

Sıvı, gaz ve katı fazlar arasındaki geçişler *faz diyagramları* denilen grafiklerle gösterilir. Bir faz diyagramı *maddenin hangi şartlar altında katı, sıvı ya da gaz fazında olacağını* gösterir. Bu kesimde kısaca su ve karbon dioksitin faz diyagramlarını inceleyeceğiz.

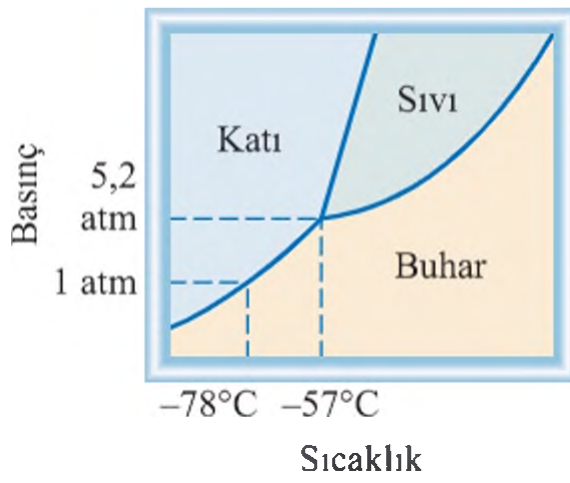
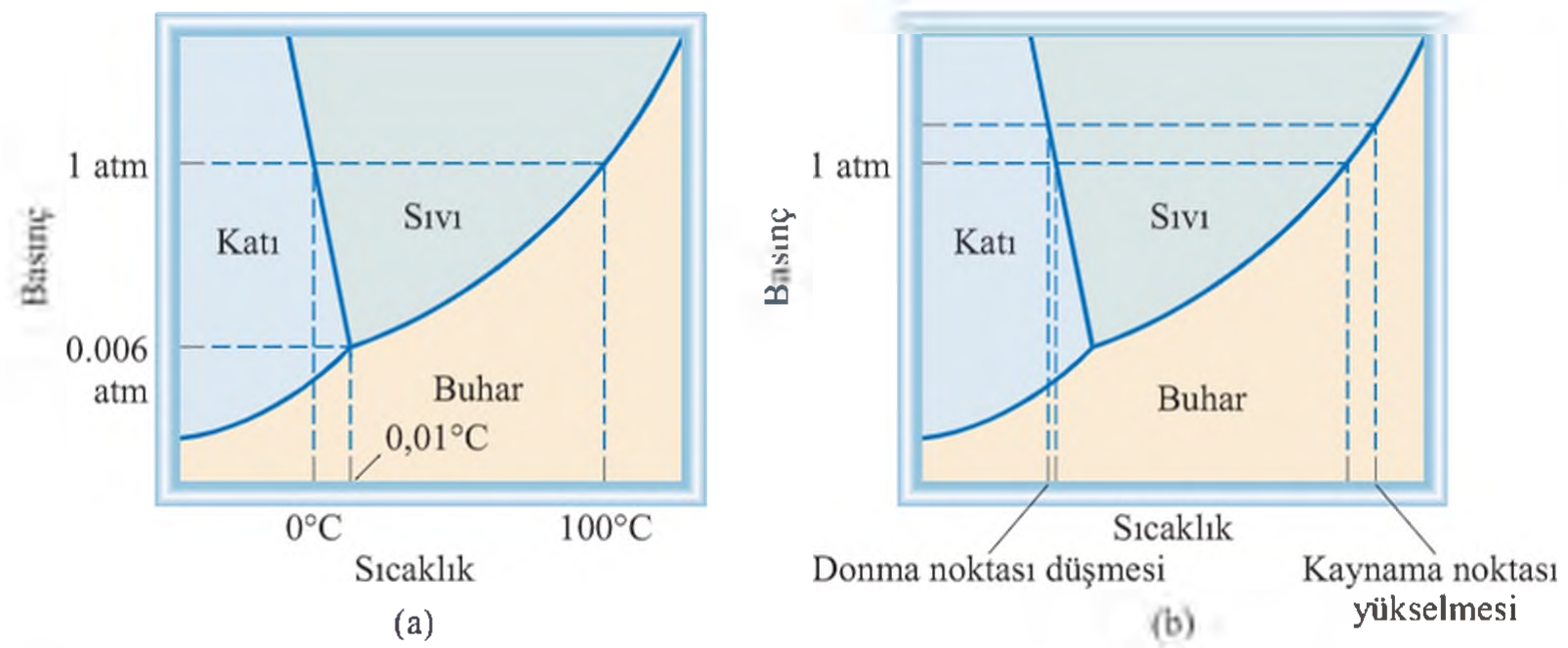
Su

Suyun faz diyagramı Şekil 11.40 (a) da görülmektedir. Grafik katı, sıvı ve gaz fazlarını göstermek üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Herhangi iki fazı ayıran çizgi, maddenin her iki fazının denge halinde bulunduğu koşulları gösterir. Örneğin, sıvı ile buhar fazları arasındaki eğri, buhar basıncının sıcaklıkla değişimini göstermektedir (bu eğriyi Şekil 11.35 ile karşılaştırmamız). Benzer şekilde, diğer iki eğri buz ile su ve buz ile su buharı arasındaki denge koşullarını göstermektedir (sıvı-katı eğrisinin negatif eğime sahip olduğuna dikkat ediniz). Faz diyagramındaki üç eğrinin birleştiği noktaya **üçlü nokta** denir. Su için üçlü nokta 0,01°C ve 0,006 atm'dir. Bu nokta *üç fazın da dengede bulunduğu yegane sıcaklık ve basıncı* gösterir.

Faz diyagramlarını kullanarak, dış basınç ile kaynama ve erime noktasının nasıl değişeceğini tahmin etmek mümkündür. Ayrıca faz diyagramlarını kullanarak sıcaklık ve basıncın değişimiyle faz değişiminin hangi yöne kayacağını da bulabiliriz. Suyun normal donma noktası 1 atm basınçta 0°C olup kaynama noktası ise 100°C'dir. Eğer erime ve kaynama noktaları farklı bir basınç altında ölçülürse ne olur? Şekil 11.40

Animasyon
Faz diyagramları ve maddenin halleri

Suyun katı-sıvı çizgisinin negatif eğimi, buzun molar hacminin sıvıkinden daha büyük olmasından dolayıdır. Dolayısıyla sıvı katıdan daha yoğundur. Basıncıdaki artış sıvı oluşumunu artırır.



Şekil 11.41 Karbon dioksitin faz diyagramı. Görüldüğü gibi katı-sıvı eğrisinin eğimi pozitifdir. Sıvı hal 5,2 atm'in altındaki sıcaklıklarda kararlı değildir. Dolayısıyla karbon dioksit atmosfer şartlarında yalnızca gaz ve katı halinde bulunur.



Şekil 11.42 Atmosfer şartlarında katı karbon dioksit erimez, doğrudan süblimleşir. Soğuk karbon dioksit gazı, çevresindeki su moleküllerini yoğunlaştırarak bir sis meydana getirir.

(b)'de 1 atm'in üzerindeki dış basınçta suyun kaynama noktasının yükseleceği ve erime noktasını düşeceği açıkça görülmektedir. Bunun tersine dış basıncın azaltılması kaynama noktasını düşürürken, erime noktasını yükseltir.

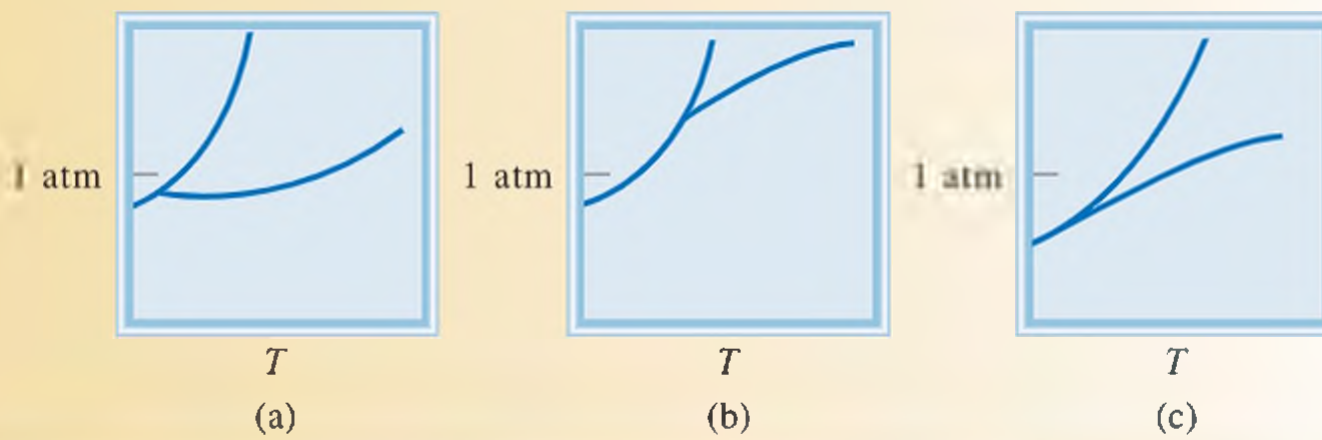
Karbon Dioksit

Karbon dioksitin faz diyagramı (Şekil 11.41) suyun faz diyagramına çok benzer. Ancak aradaki en önemli fark, karbon dioksitin faz diyagramında, katı ile sıvıyı ayıran eğrinin eğiminin pozitif olmasıdır. Bu durum, su dışında, neredeyse tüm maddeler için geçerlidir. Buzun sudan *daha az yoğun* olması nedeniyle su farklı davranır ve katı-sıvı faz sınırı negatif eğime sahiptir. Karbon dioksitin üçlü noktasındaki basınç ve sıcaklık 5,2 atm ve -57°C'dir.

Karbon dioksitin Şekil 11.41'de görülen faz diyagramında ilginç bir durum söz konusudur. Görüldüğü gibi sıvı fazın tümtü, atmosfer basıncının üstünde yer almaktadır. Dolayısıyla, karbon dioksitin 1 atm'de erimesi mümkün değildir. Buna karşın 1 atm'deki katı CO₂, -78°C'nin üstündeki sıcaklıklara doğru ısıtılırsa hemen süblimleşir. Katı karbon dioksite *kuru buz* denir. Çünkü buza benzer ve 1 atm basınçta sıcaklık artışıyla *erimeden doğrudan gaz haline geçer* (Şekil 11.42). Bu özelliğinden dolayı kuru buz iyi bir soğutucudur.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki faz diyagramlarından hangisi 1 atm'de ısıtıldığında erimek yerine süblimleşir?



Dağ Zirvesinde Yumurta Haşlamak, Düdüklü Tencere ve Buz Pateni

Faz dengeleri dış basınçtan etkilenir. Aşağıda göreceğimiz gibi, suyun kaynama ve donma noktası atmosfer koşullarına bağlı olarak $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den hissedilir derecede sapar.

Dağ zirvesinde yumurta haşlamak

Diyelimki Colarado Pike dağının zirvesine tırmandınız. Yoruca tırmanmanın ardından, gücünüzü toparlamanıza yardımcı olması için kendinize bir yumurta haşlamaya karar verdiniz. Suyun her zaman olduğundan daha çabuk kaynamasına ve 10 dakika kaynatmayı yeterli görüp yumurtayı çıkarıp kırıdığınızda hala haşlanmamış olmasına çok şaşıyorsunuz. Faz dengeleri hakkında biraz daha bilgi sahibi olsaydınız hayal kırıklığına uğramaz, haşlanmamış bir yumurtayı kırarak onu boş yere harcamazdınız (eğer bu yanımızda kalan son yumurta ise, işiniz daha zor). Colarado Pike dağının zirvesi denizden yaklaşık 4300 m yüksektedir ve atmosfer basıncı sadece 0.6 atm civarındır. Şekil 11.40 (b)'ye baktığımızda bu yükseklikte suyun 86°C 'de kaynayacağını göreceksiniz. Ancak yumurtayı haşlayan kaynama değil ona verilen ısı miktarıdır ve bu da suyun kaynama sıcaklığına bağlıdır. İşte bu yüzden bu şartlar altında yumurtayı haşlamak yarım saat gibi hatta çok daha uzun zaman alır.

Düdüklü Tencere

Yemek pişirme süresinin düdüklü tencerelerde neden daha kısa olduğu, basıncın kaynama noktası üzerindeki etkisi incelendiğinde açıklanabilir. Düdüklü tencere, basınç sadece belli bir değerin üzerine çıktığında buhar çıkmasına izin veren kapalı bir kaptır. Tenceredeki suyun üzerindeki basınç, atmosfer basıncıyla buharın basıncının toplamıdır. Buna göre, düdüklü tenceredeki su 100°C 'den daha yüksek sıcaklıklarda kaynar ve yemeklere daha fazla ısı vererek kısa sürede pişinelerini sağlar.

Buz pateni

Şimdi de su-buz dengesine bakalım. Şekil 11.40 (b)'de gösterildiği gibi, suyun katı-sıvı eğrisinin negatif eğiminden dolayı uygulanan dış basınç, buzun erime sıcaklığını düşürür. Bu olay

buz pateni yapmayı mümkün kılar. Son derece ince patenler üzerinde kayan 75 kg'lık bir insan buz üzerine 500 atm'lik bir basınç uygular. (hatırlanacağı gibi basınç, birim alana uygulanan kuvvettir.) Bunun sonucunda 0°C 'nin altındaki sıcaklıklarda patenlerin altındaki buz uygulanan basınç ile eriyerek ince bir su tabakası oluşur ve bu tabaka kaymayı mümkün hale getirir. Yapılan hesaplamalara göre basınç 1 atm arttığında, buzun erime noktası $7,4 \times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}$ düşmektedir. Dolayısıyla buz üzerine 500 atm'lik bir basınç uygulanması durumunda buzun erime noktasındaki düşme ($500 \times 7,4 \times 10^{-3}$) veya $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak bulunur. Gerçekte, buzun erimesinin temel sebebi buz pateni ile buz arasındaki sürtünmedir. Bu durum, sıcaklık $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşse bile buz pateni yapan birisinin buz üzerinde aynı şekilde kayması ile açıklanabilir.



Buz patencinin uyguladığı basınç buzun erime noktasını düşürür ve buz ile paten arasında oluşan ince su tabakası kaydırıcı rol oynar.

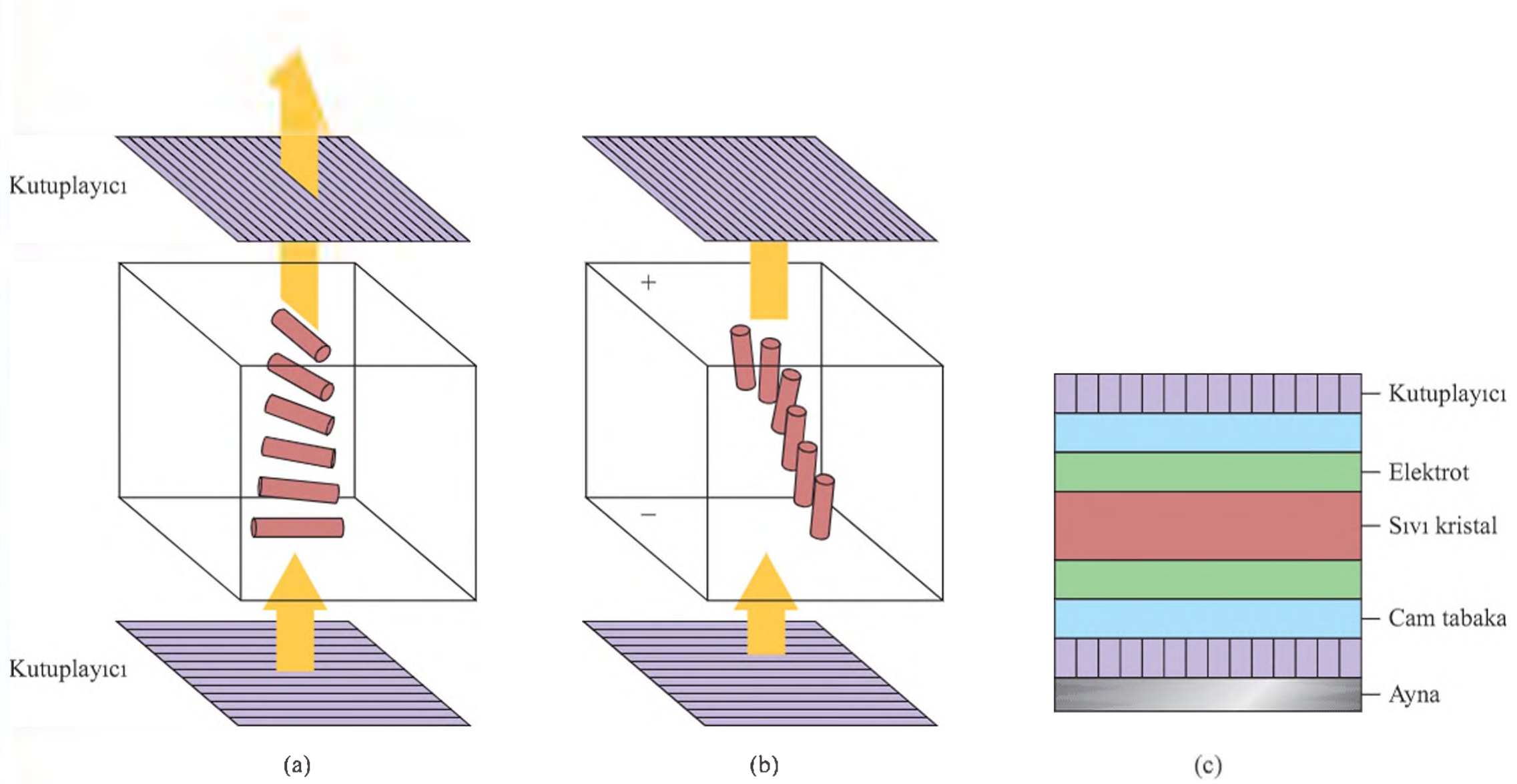
Sıvı kristaller

Genel olarak katının son derece düzenli yapısı ile sıvının daha gelişigüzel dizilimi arasında keskin bir fark vardır. Bu bakımdan kristal-buz ve sıvı su birbirlerinden farklıdır. Ancak bir grup madde, erime sonunda *parakristal hal* denilen ve karakteristik olarak kristal özellik gösteren, süte benzer bir sıvı oluşturur. Bu sütimsi sıvı daha yüksek sıcaklıklarda sıradan sıvı gibi davranış göstererek berrak bir sıvı haline gelir. Bu maddelere *sıvı kristaller* adı verilir.

Sıvı kristal özelliği gösteren moleküller genellikle uzun çubuk şeklindedir. Sıvı kristallerin önemli bir sınıfı, katı halde ısıtılır ısıtılmaz sıvı kristal veren *termotropik sıvı kristallerdir*. Termotropik sıvı kristallerin *nematik* ve *simetik* olmak üzere iki bilinen yapısı vardır. Simetik sıvı kristallerde moleküllerin uzun eksenleri tabaka düzlemine diktir. Tabakalar biribiri üzerinde kayabilir ve madde iki boyutlu bir katının mekanik özel-

liklerine sahiptir. Nematik sıvı kristaller ise daha az düzenlidir. Nematik sıvı kristallerin molekülleri, uzun eksenleri boyunca birbirlerine paralel dizilmiş olmalarına rağmen, tabakalar halinde ayrılmazlar.

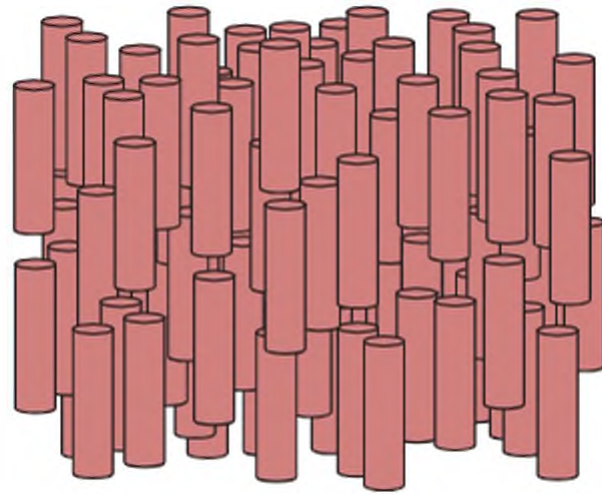
Termotropik sıvı kristallerin bilim, teknoloji ve tıpta çok sayıda uygulamaları vardır. Hesap makinalarının ve zaman ölçerlerin çok aşına olduğumuz siyah-beyaz gösterimleri bu maddenin özelliklerine dayanır. Nematik fazın alt ve üst köşelerine kalay oksitten (SnO_2) yapılmış olan şeffaf yönlendiriciler eklemek suretiyle nematik fazın molekülleri tercihli olarak birbirlerine 90° 'lik açı yapacak şekilde yönlendirilir. Bu şekilde moleküller sıvı kristal fazı boyunca bükülmüş bir hale gelirler. Düzgün olarak ayarlandığında bu bükülme, kutuplaşma düzlemini 90° döndürür ve ışığın, birbiri ile 90° açı yapacak şekilde ayarlanmış olan bu iki kutuplayıcı arasından geçmesini



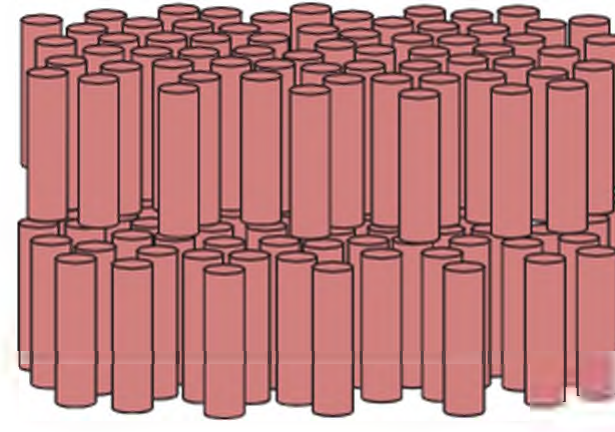
Nematik sıvı kristallerin sıvı kristal gösterimi (LCD). Alt ve üst hücre yüzeyleri ile temas eden moleküller, birbirine dik açılarda hizalanmıştır. (a) Yüzeyler arasındaki moleküllerin yönelme dereceleri, polarize düzlemini 90° çevirerek üstteki kutuplayıcıdan geçmesine izin verecek şekilde ayarlanır. Böylece hücre şeffaf görünür. (b) Elektrik alanı uygulandığında moleküller alan doğrultusunda yönelirler. Böylece polarize ışık düzlemi üst kutuplayıcıdan geçemez ve hücre siyah olarak görülür. (c) Saat ve hesap makinelerinde kullanılan bir LCD'nin kesiti.

sağlar. Bir elektrik alanı uygulandığında, nematik moleküller üzerinde oluşan tork (dönme, kuvvet) bunları elektrik alanı doğrultusunda hizalanmaya zorlar. Bu durumda, gelen polarize ışık üstteki kutuplayıcıdan geçemez. Saat ve hesap makinelerinde alttaki kutuplayıcıya bir ayna konulmuştur. Elektrik olmadığında, yansıyan ışık her iki kutuplayıcıdan da geçer ve dolayısıyla hücre üstten şeffaf görünür. Elektrik alanı uygulandığında, üstten gelen ışın alttaki kutuplayıcıya geçip detektöre ulaşamaz ve bu durumda hücre karanlık olur. 10 μm (1 $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m) kalınlığındaki nematik tabakaya birkaç voltluk bir gerilim uygulanır. Elektrik alanı açılıp kapandığında, moleküllerin gösterdikleri hizalanma ve durulma tepkileri milisaniyelerle ölçülen bir süreçte gerçekleşir (1 ms = 10^{-3} s).

Diğer bir tür termotropik sıvı da *kolosterik sıvı kristalleri* olarak bilinen sıvıdır. Kolosterik kristallerin rengi sıcaklıkla değiştiğinden, özellikle hassas termometrelerin yapımı için uygundur. Metalurjide bu sıvı kristaller metal gerilimini, ısı kaynaklarını ve iletkenlik iletim yollarını belirlemede kullanılır. Tıpta da sıvı kristalleri kullanmak suretiyle vücudun belli kısımlarındaki hassas sıcaklık değerleri bulunabilir. Bu teknik tümör büyümesini (örneğin meme tümörlerini) tespit etmekte ve enfeksiyon tedavisinde önemli bir tanı aracı haline gelmiştir. Lokalize tümör ve enfeksiyonlar metabolik hızı dolayısıyla dokulardaki sıcaklığı arttırdıklarından, ince bir film sıvı kristali bu sıcaklık değişimine karşı renk değişimini vermek suretiyle doktora teşhis açısından büyük kolaylık sağlar.

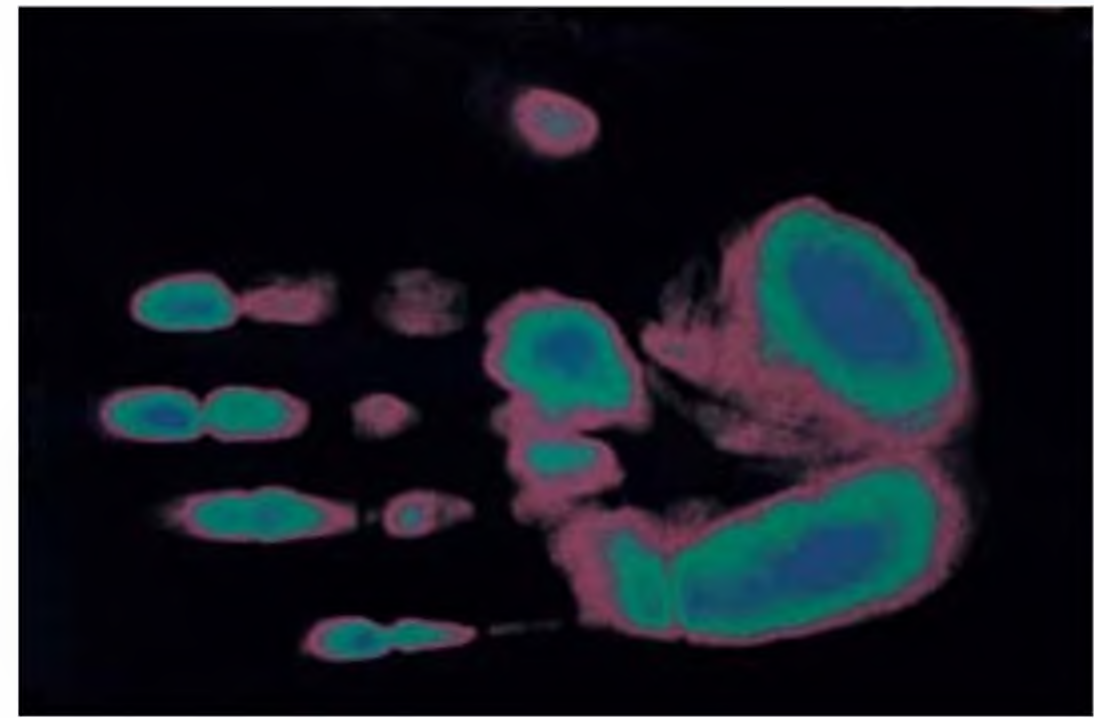
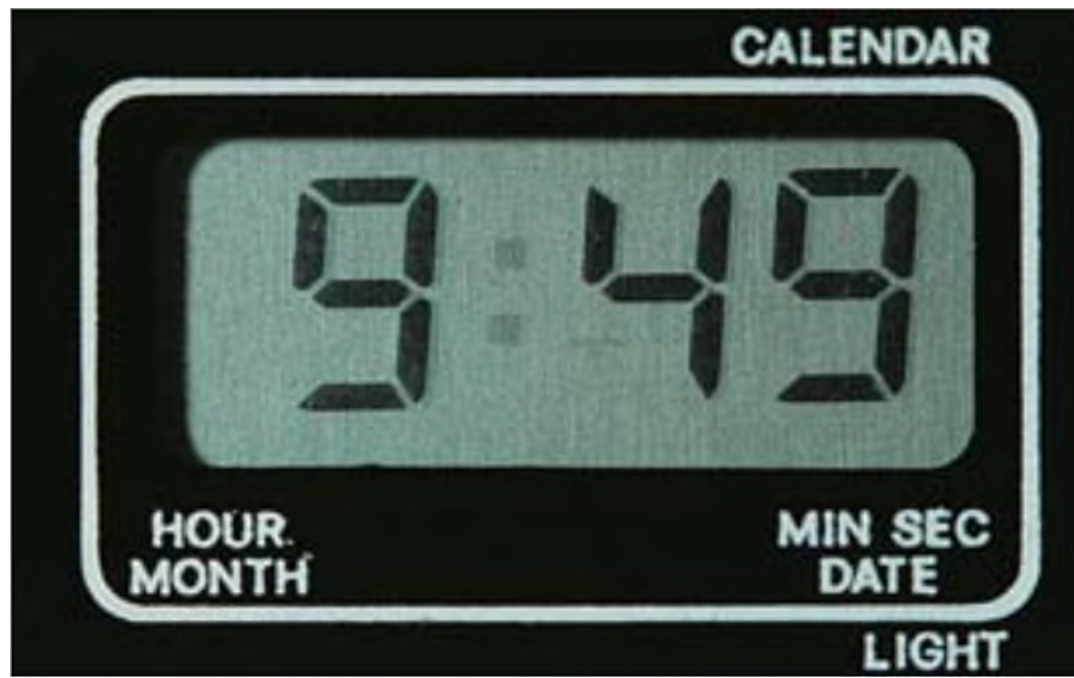


Nematik



Smektik

İki farklı tip sıvı kristalin yönelmesi. Nematik sıvı kristali tek boyutlu bir katı gibi, smektik sıvı kristali de iki boyutlu bir katı gibi davranır.



Bir sıvı kristal termogram. Kırmızı kısımlar yüksek sıcaklık bölgelerini, mavi kısımlar ise düşük sıcaklık bölgelerini göstermektedir.

Anahtar Eşitlikler

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (11.1)$$

Bir kristal örgü yapısı için atom düzlemleri arasındaki mesafeyi hesaplayan Bragg eşitliği.

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{\text{buh}}}{RT} + C \quad (11.2)$$

Bir sıvının ΔH_{buh} değerini veren Clausius Clapeyron eşitliği.

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) \quad (11.5)$$

Sıvıların ΔH_{buh} buhar basıncı veya kaynama noktasını hesaplamakta kullanılan eşitlik.

$$\Delta H_{\text{erit}} = \Delta H_{\text{erit}} + \Delta H_{\text{buh}} \quad (11.6)$$

Hess yasasının uygulaması.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Maddeler gaz, sıvı ve katı olmak üzere üç halde bulunur. Gaz hali ile yoğunlaşmış haller arasındaki en önemli fark moleküller arası uzaklıktır.
2. Moleküller arası kuvvetler, moleküller arasında ya da molekül ile iyonlar arasında etkilidir. Genelde bu kuvvetler bağ kuvvetlerinden daha zayıftır.
3. Dipol-dipol ya da iyon-dipol kuvvetleri diğer polar molekül ya da iyonları çeker.
4. Dağılma kuvvetleri, normal olarak polarize olmayan moleküllerde oluşan geçici indüklenmiş dipol momentlerden kaynaklanır. Bir molekülde oluşturulabilecek dipol momentinin ölçüştü. onun polarize olabilirliğine bağlıdır. “van der Waals kuvvetleri” dipol-dipol, dipol-indüklenmiş dipol ve dağılma kuvvetlerini kapsar.
5. Hidrojen bağı, polarize bir kovalent bağdaki hidrojen atomu ile N, O ya da F gibi elektronegatif atomlar arasında olan kuvvetli dipol- dipol bağlardır. Su molekülleri arasındaki hidrojen bağları özellikle çok güçlüdür.
6. Sıvılar en küçük yüzey alanlı geometriyi sağlamaya çalışırlar. Sıvıların yüzey alanını genişletmek için gerekli enerjiye yüzey gerilimi adı verilir. Yüzey geriliminin yüksek olması moleküller arası kuvvetlerden kaynaklanır. Moleküller arası kuvvetler ne kadar güçlüyse, yüzey gerilimi de o kadar güçlüdür.
7. Viskozite ise sıvıların akmaya karşı gösterdikleri dirençtir ve sıcaklıkla azalır.
8. Su molekülleri katı halde iken, her oksijen atomunun iki hidrojene kovalent bağla, iki hidrojene de hidrojen bağı ile bağlanmasıyla ortaya çıkan üç boyutlu bir ağ yapısına sahiptir. Bu kendine has özelliğinden dolayı buz, sudan daha az yoğundur. Bu özellik kışın buz altındaki göllerde veya havuzlarda yaşamın devam etmesinde büyük rol oynar .
9. Hidrojen bağlarından kaynaklanan yüksek özgül ısı nedeniyle, su ekolojik dengede önemli bir rol oynar.

Doğadaki büyük su kütleleri, kendi sıcaklığında büyük bir değişiklik olmadan, ısı alarak ya da ısı vererek iklim düzenlenmesine büyük katkıda bulunur.

10. Tüm katılar ya kristal (atom, molekül veya iyonlardan oluşmuş düzenli yapı) ya da amorf (düzensiz yapı) halindedir. Cam amorf yapıya bir örnektir.
11. Kristal yapının en basit yapı birimine birim hücre denir ve hücre tekrarlanarak üç boyutlu kristal örgü yapısı oluşturur. Kristaller hakkında bildiklerimizin çoğu, X-ışını kırınımı sayesinde.
12. Dört çeşit kristal yapı vardır. Bu yapılarıdaki tanecikler iyonik katılarda iyonik kuvvetlerle, moleküler katılarda van der Waals ve/veya hidrojen bağlarıyla, kovalent katılarda kovalent bağlarla ve metalik katılarda metalik bağlarla bir arada tutulurlar.
13. Kapalı bir kaptaki bulunan bir sıvı zamanla buharlaşma ile yoğunlaşma arasında kurulan bir dinamik denge oluşturur. Sıvının üzerindeki buhar basıncı denge buhar basıncı olup kısaca buhar basıncı olarak bilinir.
14. Kaynama noktasında sıvının buhar basıncı dış basınca eşit olur. Bir sıvının molar buharlaşma ısısı, 1 mol sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan enerji miktarıdır. Bu değer sıvının buhar basıncının sıcaklıkla değişimini ölçerek ve Clausius-Clapeyron denklemini[Eşitlik 11.2] kullanmak suretiyle belirlenebilir. Bir katının molar erime ısısı, 1 mol katıyı eritmek için gerekli ısıdır.
15. Her madde için bir kritik sıcaklık vardır. Kritik sıcaklığın üzerindeki gaz sıvılaştırılmaz.
16. Bir maddenin üç fazı arasındaki ilişki faz diyagramlarıyla gösterilir. Faz diyagramındaki her bölge saf bir fazı, fazlar arasındaki sınır ise iki fazın dengede olduğu sıcaklık ve basınçları gösterir. Üçlü noktada ise üç faz denge halindedir.

Anahtar Kelimeler

Adezyon s. 475	Dağılma kuvvetleri, s. 471	İyon-dipol kuvvetleri, s. 470	Süper soğuma, s. 503
Amorf katı s. 494	Dinamik denge, s. 497	Erime noktası, s. 501	Yüzey gerilimi, s. 495
Kaynama noktası s. 500	Denge buhar basıncı, s. 497	Molar erime ısısı (ΔH_{er}), s. 502	Üçlü nokta, s. 505
Sık istiflenme s. 482	Buharlaşma, s. 496	Molar süblimleşme ısısı (ΔH_{sub}), s. 504	Birim hücre, s. 479
Yoğunlaşma s. 497	Donma noktası, s. 501	Molar buharlaşma ısısı (ΔH_{buh}), s. 504	van der Waals kuvvetleri, s. 469
Koordinasyon sayısı s. 481	Cam, s. 494	Faz değişimleri, s. 495	Buharlaşma, s. 476
Kritik basınç (P_k), s. 501	Hidrojen bağı, s. 473	Faz diyagramları, s. 505	Viskosite, s. 476
Kritik sıcaklık (T_k), s. 501	İndüklenmiş dipol, s. 470	Süblimleşme, s. 504	X-ışını kırınımı, s. 486
Kristal katı, s. 478	Moleküller arası kuvvetler, s. 469		
Kırağılaşma, s. 504	Molekül içi kuvvetler, s. 469		
Dipol-dipol kuvvetler, s. 459			

Sorular ve Problemler

Moleküller Arası Kuvvetler

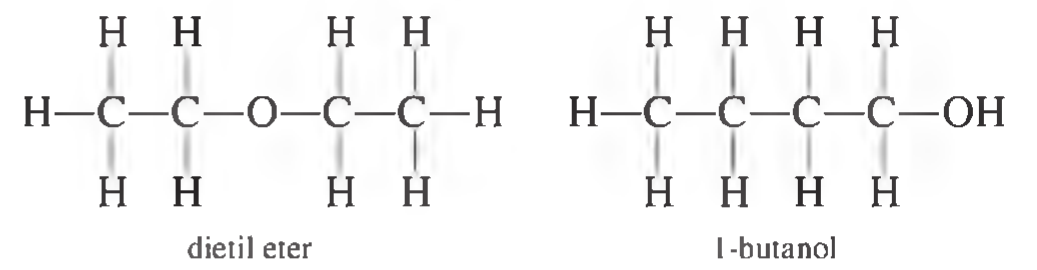
Tarama Soruları

- 11.1 Aşağıdaki terimleri tanımlayınız ve her biri için bir örnek veriniz (a) dipol-dipol etkileşimi (b) dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi (c) iyon-dipol etkileşimi (d) dağılma kuvvetleri (e) van der Waals kuvvetleri.
- 11.2 "Polarlanabilirlik" terimini açıklayınız. Hangi tip moleküller yüksek polarlanabilirliğe sahiptir. Polarlanabilirlik ile moleküller arası kuvvetler arasındaki ilişki nedir?
- 11.3 Geçici dipol kalıcı dipol arasındaki farkı açıklayınız.
- 11.4 Bütün molekül ve atomların birbirine çekim kuvvetleri uyguladığını gösteren kanıtlar gösteriniz.
- 11.5 Sıvılarla ile katılardaki moleküller arası kuvvetleri karşılaştırmak için hangi fiziksel özellikler düşünülmelidir?
- 11.6 Hangi elementler hidrojen bağında yer alabilir? Bu etkileşimlerde hidrojen neden eşsizdir?

Problemler

- 11.7 Br_2 ve ICl aynı sayıda elektrona sahipken, Br_2 $-7.2^\circ C$ 'de ICl ise $27.2^\circ C$ 'de erir. Bu durumu açıklayınız.
- 11.8 Alaska'da yaşasaydınız aşağıda verilen doğal gazlardan hangisini kışın dışarıdaki bir tankta muhafaza edebilirdiniz, neden? metan (CH_4), propan (C_3H_8) ya da bütan (C_4H_{10}).
- 11.9 4A grubu elementlerinin yaptığı hidrojen bileşikleri ve kaynama noktaları (parantez içinde) şunlardır: CH_4 ($-162^\circ C$), SiH_4 ($-112^\circ C$), GeH_4 ($-88^\circ C$) ve SnH_4 ($-52^\circ C$). CH_4 'den SnH_4 'e doğru olan kaynama noktası artışını açıklayınız.

- 11.10 Aşağıda verilen maddeler için moleküller arası kuvvet türlerini belirtiniz: (a) Benzen (C_6H_6), (b) CH_3Cl , (c) PF_3 , (d) $NaCl$, (e) CS_2 .
- 11.11 Amonyak hidrojen bağı oluşumunda hem hidrojen verici hem de hidrojen alıcı olarak davranır. Bir amonyak molekülünün iki ayrı amonyak molekülü ile hidrojen bağı yapmasını çizerek gösteriniz.
- 11.12 Aşağıdaki moleküllerden hangileri kendi aralarında hidrojen bağı yapabilir: (a) C_2H_6 , (b) HI , (c) KF , (d) BeH_2 , (e) CH_3COOH ?
- 11.13 Aşağıdaki bileşikler kaynama noktası artışına göre sıralayınız: RbF , CO_2 , CH_3OH , CH_3Br . Sıralamadaki nedeninizi açıklayınız.
- 11.14 Dietil eterin kaynama noktası $34.5^\circ C$ ve 1-bütanolün kaynama noktası $117^\circ C$ 'dir.



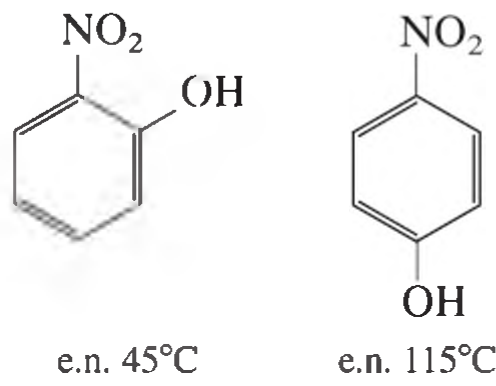
Her iki bileşik de aynı sayıda ve türde atomdan oluşmuştur. Kaynama noktaları arasındaki farkı açıklayınız.

- 11.15 Aşağıdaki madde çiftlerinden hangisi daha yüksek kaynama noktasına sahiptir: (a) O_2 ya da N_2 , (b) SO_2 ya da CO_2 , (c) HF ya da HI ?
- 11.16 Aşağıdaki madde çiftlerinden hangisinin daha yüksek kaynama noktasına sahip olmasını beklersiniz? Nedenini açıklayınız: (a) Ne ya da Xe , (b) CO_2 ya da CS_2 , (c) CH_4 ya da Cl_2 , (d) F_2 ya da LiF , (e) NH_3 ya da PH_3 .

- 11.17 Aşağıdaki hususları moleküller arası kuvvetlere dayanarak açıklayınız (a) NH_3 neden CH_4 'den daha yüksek kaynama noktasına sahiptir (b) KCl neden I_2 'den daha yüksek kaynama noktasına sahiptir.
- 11.18** Aşağıdaki olaylarda hangi çekim kuvvetleri yenilmiştir? (a) buzun erimesi (b) bromun kaynaması (c) katı iyodun erimesi (b) F_2 'nin F atomlarına ayrışması.
- 11.19 Aşağıdaki moleküller aynı molekül formülüne (C_4H_{10}) sahiptir. Hangisinin daha yüksek kaynama noktasına sahip olmasını beklersiniz?



- 11.20** Aşağıdaki moleküllerin erime noktaları arasındaki farkı açıklayınız.



(İpucu: Bu moleküllerden sadece biri molekül içi hidrojen bağı oluşturabilir.)

Sıvıların Özellikleri

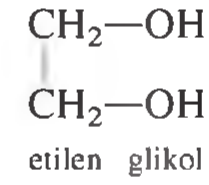
Tarama Soruları

- 11.21 Neden sıvılar, gazların tersine hemen hemen hiç sıkıştırılmaz?
- 11.22 Yüzey gerilimi nedir? Moleküller arası kuvvetler ile yüzey gerilimi arasında ne gibi bir ilişki vardır? Yüzey gerilimi sıcaklıkla nasıl değişir?
- 11.23 Paslanmaz çelik sudan çok daha yoğun olmasına karşın, paslanmaz çelikten yapılan tıraş bıçağı suda yüzdürülebilir. Neden?
- 11.24 Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerini cıva ve suyu örnek vererek açıklayınız.
- 11.25 Bir kap, yüzeyinin biraz üstüne kadar suyla doldurulabilir. Suyun neden taşmadığını açıklayınız.
- 11.26 Yarıçapları farkı olan üç cam tüp içindeki (a) suyun (b) cıvanın kapiler davranışlarını çizerek gösteriniz.
- 11.27 Viskozite nedir? Bir sıvıdaki moleküller arası kuvvetlerle sıvının viskozitesi arasındaki ilişki nedir?
- 11.28 Sıvıların viskoziteleri neden sıcaklık artışı ile azalır?
- 11.29 Neden buz sudan daha az yoğundur?

- 11.30 Kış mevsiminde dışarıdaki boruların sürekli akış halinde olması ya da boruların yalıtılması gerekir. Neden?

Problemler

- 11.31 Aşağıdaki sıvılardan hangisi daha büyük yüzey gerilimine sahiptir: etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ya da dimetil eter (CH_3OCH_3).
- 11.32** Etilen glikolün viskozitesini etanol ve gliserin ile kıyaslanarak tahmin ediniz (bak. Çizelge 11.3)



Kristal Katılar

Tarama Soruları

- 11.33 Aşağıdaki terimleri tanımlayınız: kristal katı, örgü noktası, birim hücre, koordinasyon sayısı, sık istiflenme.
- 11.34 Aşağıdaki kubik hücrelerin geometrilerini açıklayınız: basit kübik hücre, yüzey merkezli kübik hücre, iç merkezli kübik hücre. Aynı tür atomlar için hangi hücre en yüksek yoğunluktadır? Hangisinde en düşük?
- 11.35 Periyodik çizelgenin 3. Periyodundaki elementlerin katı hallerini kristal yapılarına göre sınıflayınız. Kaynama ve erime noktalarının hangi sıraya göre değişeceğini tahmin ediniz.
- 11.36 Üçüncü periyot elementlerinin oksitleri için erime noktaları parantez içinde verilmiştir: Na_2O (1275°C), MgO (2800°C), Al_2O_3 (2045°C), SiO_2 (1610°C), P_4O_{10} (580°C), SO_3 (16,8°C), Cl_2O_7 (-91,5°C). Bu katıları kristal tiplerine göre sınıflandırınız.

Problemler

- 11.37 Aşağıda verilen birim hücrelerdeki her atomun koordinasyon sayısını belirleyiniz (a) Basit kübik örgü yapısı (b) İç merkezli kübik örgü yapısı (c) Yüzey merkezli kübik örgü yapısı. Atomları aynı büyüklükte kabul ediniz.
- 11.38** Aşağıda verilen birim hücrelerdeki atom sayısını hesaplayınız: basit kübik, iç merkezli kübik ve yüzey merkezli kübik hücre. Atomların aynı boyutta olduklarını kabul ediniz.
- 11.39 Metalik demir, bir kübik örgü yapısında kristalleşir. Birim hücre kenarı 287 pm'dir ve demirin yoğunluğu 7,87 g/cm³ tür. Buna göre birim hücrede kaç tane demir atomu vardır?
- 11.40** Baryum metali iç merkezli kübik yapıda kristalleşir ve baryum atomları sadece örgü noktalarında bulunur. Birim hücrenin bir kenarı 502 pm ve Ba'nın yoğunluğu 3,50 g/cm³ dir. Bu verileri kullanarak, Avogadro sayısını hesaplayınız [İpucu: Önce birim hücrelerde 1 mol Ba atomunun kapladığı hacmi (cm³), sonra da Ba atomu tarafından işgal edilen hacmi (cm³) hesaplayınız]

- 11.41 Vanadyum iç merkezli kübik yapıda kristallenir (V atomları sadece örgü noktalarında bulunmaktadır). Bir birim hücrede kaç tane V atomu vardır?
- 11.42** Öropyum (Eu) iç merkezli kübik yapıda kristalledir (Eu atomları sadece örgü noktalarında bulunmaktadır). Eu'nun yoğunluğu 5.26 g/cm^3 dir. Birim hücrenin kenar uzunluğunu pikometre cinsinden hesaplayınız.
- 11.43 Kristal silisyum (Si) kübik bir yapıya sahiptir. Birim hücrenin kenarı 357 pm ve yoğunluğu 2.33 g/cm^3 dir. Birim hücredeki Si atomu sayısını hesaplayınız.
- 11.44** Yüzey merkezli kübik birim hücre, köşelerde 8 X atomu, yüzeylerde 6 Y atomu iltiva etmektedir. Katının basit formülü nedir?

Kristalların X-Işını Kırınımı

Tarama Soruları

- 11.45 X-ışığı kırınımını tanımlayınız. X –ışınlarının tipik dalga boyları nedir (nm cinsinden)? (bak şekil 7.4)
- 11.46 Bragg denklemini yazınız. Her terimi tanımlayınız ve bu denklemin atomlar arası mesafelerin ölçülmesinde nasıl kullanıldığını açıklayınız.

Problemler

- 11.47 0.090 nm 'lık bir dalga boyuna sahip olan bir X-ışının demeti bir metalik kristalden yansıyınca birinci derece ($n = 1$) yansıma açısı 15.2° olarak ölçülmüştür. Bu yansımadan sorumlu olunan atom tabakalar arasındaki mesafeyi hesaplayınız (pm olarak).
- 11.48** NaCl kristalleri arasındaki mesafe 282 pm 'dir. Bu tabakadan X ışınları 23.0° lık bir açı ile yansımaktadır. $n = 1$ olduğunu farz ederek X-ışınlarının dalga boyunu hesaplayınız.

Kristal Tipleri

Tarama Soruları

- 11.49 Aşağıdaki kristalleri örnekler vererek açıklayınız: (a) iyonik kristaller (b) kovalent kristaller (c) moleküler kristaller (d) metalik kristaller.
- 11.50 Neden metaller ısı ve elektriği iyi iletirler? Elektrik iletkenlikleri neden sıcaklıkla azalır?

Problemler

- 11.51 Elimizde sert, kırılkan ve elektriği iletmeyen bir katı var. Bu maddenin eriyiği (sıvı hali) ve sulu çözeltisi ise elektriği iletmemektedir. Bu katıyı sınıflandırınız.
- 11.52** Düşük erime noktasına sahip (100°C 'nin altında) yumuşak bir katının katı hali, sıvı hali ve sulu çözeltisi elektriği iletmemektedir. Bu katıyı sınıflandırınız.

- 11.53 Elimizde çok sert ve erime noktası yüksek bir katı var. Ne katı ne de onun erimiş hali elektriği iyi iletmemektedir. Bu katıyı sınıflayınız
- 11.54** Aşağıdakilerden hangileri moleküler, hangileri kovalent katılardır: Se_8 , HBr , Si , CO_2 , C , P_4O_6 , SiH_4 ?
- 11.55 Aşağıdaki maddelerin katı hallerini iyonik kristal, kovalent kristal, moleküler kristal veya metalik kristal olarak sınıflandırınız: (a) CO_2 , (b) B_{12} , (c) S_8 , (d) KBr , (e) Mg , (f) SiO_2 , (g) LiCl , (h) Cr .
- 11.56** Elmasın neden grafitte göre daha sert olduğunu açıklayınız. Neden grafit elektriği iletirken elmas iletmez?

Amorf katılar

Tarama Soruları

- 11.57 Bir amorf katı nedir? Kristal katıdan farkı nedir?
- 11.58 Camı tanımlayınız? Camın başlıca bileşimi nedir? Üç tip cam söyleyiniz.

Faz Değişimleri

Tarama Soruları

- 11.59 Faz değişimi nedir? Bir maddenin katı, sıvı ve gaz halleri arasındaki olası tüm geçişleri adlandırınız.
- 11.60 Bir sıvının denge buhar basıncı nedir? Nasıl ölçülür? Sıcaklıkla nasıl değişir?
- 11.61 Faz değişimlerinden herhangi birini kullanarak dinamik dengenin ne anlama geldiğini açıklayınız.
- 11.62 Aşağıdaki terimleri açıklayınız: (a) molar buharlaşma ısı (b) molar erime ısı (c) molar süblimleşme ısı. Birimleri nelerdir?
- 11.63 Molar süblimleşme ısı, molar buharlaşma ve molar erime ısılarına nasıl bağlıdır? Bu bağıntı hangi yasaya dayanır?
- 11.64 Molar buharlaşma ısı bir sıvının moleküller arası kuvvetleri hakkında ne tür bilgiler verir?
- 11.65 Bir sıvının molar buharlaşma ısı ne kadar yüksekse, buhar basıncı da o kadar yüksektir. Doğru mu? Yanlış mı?
- 11.66 Kaynama noktasını tanımlayınız. Bir sıvının kaynama noktası dış basınçla nasıl değişir? Çizelge 5.3'den faydalanarak dış basınç 187.5 mmHg iken suyun kaynama noktasını bulunuz.
- 11.67 Bir sıvı sabit basınç altında ısıtıldığında, sıcaklığı kaynama noktasına kadar artar, kaynama noktasında değişmez. Bu durumu açıklayınız.
- 11.68 Kritik sıcaklık nedir? Gazların sıvılaştırılmasında kritik sıcaklığın önemi nedir?

- 11.69 Sıvıdaki moleküller arası kuvvetler ile sıvının kaynama noktası ve kritik sıcaklık arasındaki ilişki nedir? Suyun kritik sıcaklığı neden diğer birçok sıvıdan daha yüksektir?
- 11.70 Su ve karbon tetraklorürün kaynama ve erime noktaları basınçla nasıl değişir? Aralarındaki farkı açıklayınız.
- 11.71 Neden katı karbon dioksit kuru buz denir?
- 11.72 Islak elbiseler sıcak ve kuru havada, sıcak ve nemli havaya göre daha çabuk kurur. Neden?
- 11.73 Aşağıdaki faz değişimlerinden hangisi daha fazla ısı açığa çıkarır? (a) 100°C 'de 1 mol buharın 1 mol suya dönüşmesi (b) 0°C 'de 1 mol suyun 1 mol buza dönüşmesi.
- 11.74 Beherde bulunan su bek alevinde kaynama noktasına kadar ısıtılmaktadır. Isıtma işleminin ikinci bir bek alevi ilave edilerek yapılması suyun kaynama sıcaklığını artırır mı? Açıklayınız.

Problemler

- 11.75 74,6 g suyu 100°C 'de buhar haline getirmek için gerekli olan ısıyı (kJ olarak) hesaplayınız.
- 11.76 -10°C 'deki 866 g buz 126°C 'deki kızgın buhara çevirmek için gerekli olan ısı miktarı nedir? (kJ olarak) (Buz ve buharın özgül ısıları sırasıyla $2.03 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ve $1.99 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
- 11.77 Sıvıların buharlaşma hızı aşağıdakilerden nasıl etkilendir? (a) sıcaklık (b) sıvının havaya açık olan yüzey alanı (b) moleküller arası kuvvetler?
- 11.78 İyotun molar erime ve süblimleşme ısıları, sırasıyla 15.27 ve 62.30 kJ/mol 'dir. Sıvı iyotun molar buharlaşma ısını hesaplayınız.
- 11.79 Aşağıdaki bileşikler -10°C 'de sıvı halde olup kaynama noktaları parantez içinde verilmiştir: bütan (-0.5°C), etanol (78.3°C), toluen (110.6°C). -10°C 'de bu sıvılarda hangisi en yüksek buhar basıncına sahiptir? Hangisi en düşük buhar basıncına sahiptir? Açıklayınız.
- 11.80 Dondurulup-kurutulmuş kahve şöyle hazırlanır: demlenmiş kahve dondurulup buz kısmı vakumla uzaklaştırılır. Bu işlemlerde meydana gelen faz değişimlerini açıklayınız.
- 11.81 Bir öğrenci bir kış günü -15°C 'de ıslak elbiselerini dışarıya asıyor. Birkaç saat sonra elbiselerinin oldukça kurumuş olduğunu görüyor. Kurutma sırasında meydana gelen faz değişimlerini açıklayınız.
- 11.82 100°C 'deki buhar 100°C 'deki suya göre çok daha yakıcıdır, neden?
- 11.83 Aşağıda cıvanın değişik sıcaklıklarda ölçülen buhar basınçları verilmiştir. Cıvanın "molar buharlaşma ısını" grafik yöntemiyle hesaplayınız.
- | $t (^{\circ}\text{C})$ | 200 | 250 | 300 | 320 | 340 |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| $P (\text{mmHg})$ | 17,3 | 74,4 | 246,8 | 376,3 | 557,9 |

- 11.84 $7,6^{\circ}\text{C}$ 'de benzenin (C_6H_6) buhar basıncı $40,1 \text{ mmHg}$ 'dir. $60,6^{\circ}\text{C}$ 'deki buhar basıncı nedir? Benzenin molar buharlaşma ısı $31,0 \text{ kJ/mol}$ 'dir.
- 11.85 20°C 'de X sıvısının buhar basıncı Y sıvısından daha düşüktü. ancak 60°C 'de daha yüksektir. X ve Y'nın molar buharlaşma ısılarının birbirine göre nasıl olmasını beklersiniz?
- 11.86 Derinize çok az sıvı azot gelmesi (k.n 77 K) neden derinize kaynar su gelmesi kadar zarar vermez açıklayınız.

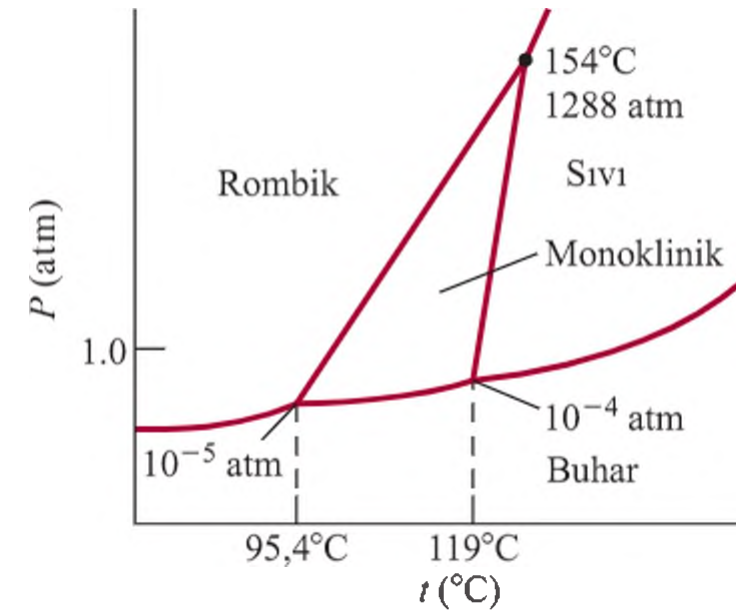
Faz Diyagramları

Tarama Soruları

- 11.87 Faz diyagramı nedir? Bir faz diyagramından hangi tür faydalı bilgiler elde edilebilir?
- 11.88 Suyun faz diyagramı diğer birçok maddenin faz diyagramından nasıl farklıdır? Suyun hangi özelliği bu farklılığa neden olur?

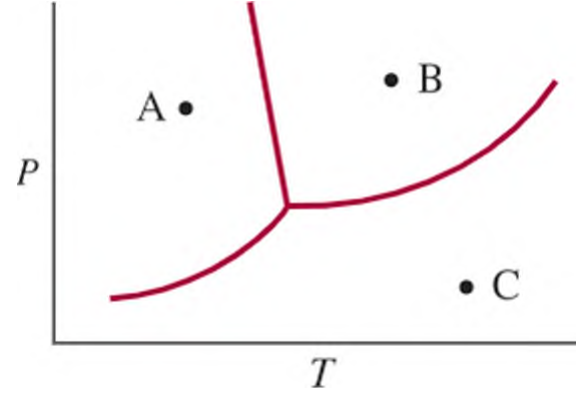
Problemler

- 11.89 Kükürtün faz diyagramı aşağıda verildiği gibidir. (a) Burada kaç tane üçlü nokta vardır? (b) kükürtün monoklinik ve rombik olmak üzere iki tane allotropu vardır. Hangisi atmosfer şartlarında daha karardır? 1 atm 'de bulunan bir kükürt numunesi 80°C 'den 200°C 'ye ısıtılırsa ne olur?



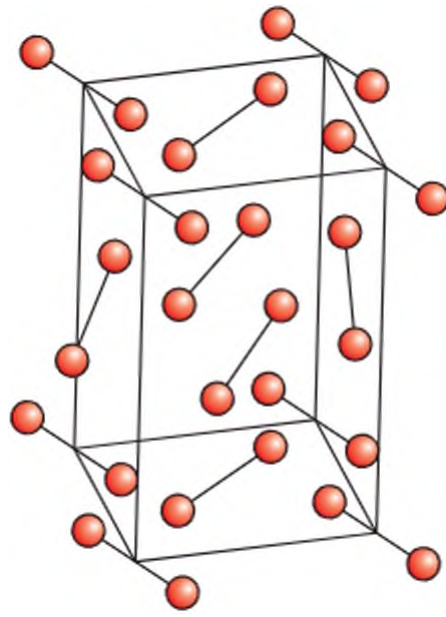
- 11.90 Buz blok üzerine iki ucu kenarlardan sarkacak şekilde bir tel sarkıtılmış ve serbest uçlarına da büyük birer ağırlık takılmıştır. Telin altındaki buzun yavaş yavaş erimeye başladığı ve telin gittikçe buz kütlelerine nüfuz ettiği gözlenmiştir. Bu arada telin üstündeki su da donmuştur. Bu olayda cereyan eden faz değişimlerini açıklayınız.
- 11.91 Kükürt dioksit 1 atm basınçta donma ve kaynama noktası, sırasıyla $-72,7^{\circ}\text{C}$ ve -10°C 'dir. Üçlü nokta $-75,5^{\circ}\text{C}$ ve $1,65 \times 10^{-3} \text{ atm}$, kritik nokta ise 157°C ve 78 atm 'dir. Bu bilgilere dayanarak SO_2 'nin faz diyagramını kabaca çizin.
- 11.92 Aşağıda verilen suyun faz diyagramını göz önüne alarak, tüm bölgelerdeki fazları işaretleyiniz. Verilen şu değerlerle ne olacağını öngördünüz: (a) A nokta-

sından başlayarak sabit basınç altında sıcaklığı artırmak (b) C noktasından başlayarak sabit basınç altında sıcaklığı azaltmak (c) B noktasından başlayarak sabit sıcaklık altında basıncı azaltmak.



Ek Problemler

- 11.93 Aşağıdaki olayları gerçekleştirmek için hangi çekim kuvvetlerini yenmek gerekir? (a) sıvı amonyağı kaynatmak (b) katı fosforu (P_4) eritmek (c) CsI'ü sıvı HF içinde çözmek (d) potasyum metalini eritmek.
- 11.94 Aşağıdakilerden hangisi bir sıvıdaki kuvvetli moleküller arası kuvvetlerin göstergesidir: (a) çok düşük yüzey gerilimi (b) çok düşük kritik sıcaklık (c) çok düşük kaynama noktası (d) çok düşük buhar basıncı?
- 11.95 -35°C de sıvı HI aynı sıcaklıktaki sıvı HF'den daha yüksek buhar basıncına sahiptir. Nedenini açıklayınız.
- 11.96 Bor elementinin şu verilen özelliklerine bakarak: "Yüksek erime noktasına sahip olması (2300°C), ısı ve elektriği kötü iletmesi, suda çözünmesi ve çok sert olması" Kesim 11.5'de incelenen kristallerden hangisine uyduğunu belirtiniz.
- 11.97 Şekil 11.41'i kullanarak, CO_2 'in aşağıdaki şartlarda hangi fazının kararlı olacağını belirleyiniz (a) 4 atm ve -60°C (b) 0.5 atm ve -20°C .
- 11.98 İyotun birim hücresini sınıflandırınız.



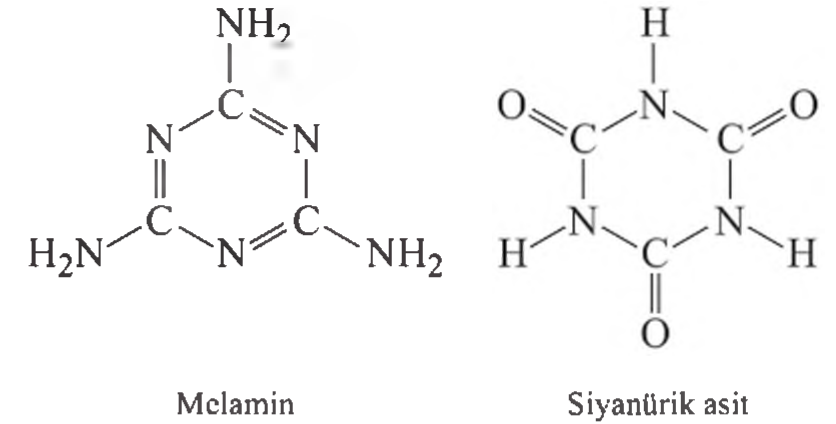
- 11.99 Massachusetts'de bir binanın dışında CO_2 yangın söndürücü tüpü bulunmaktadır. Kış aylarında söndürücü hafifçe sallandığında çalkalanma sesi duyulurken, yaz aylarında bu ses yoktur. Bu olayı açıklayınız. Söndürücüde bir kaçak olmadığı ve hiç kullanılmadığı bilinmektedir.

- 11.100 Normal kaynama noktasında (357°C) cıvanın buhar basıncı nedir?
- 11.101 İçinde su bulunan bir kap güçlü bir vakum pompasına bağlanmıştır. Pompa çalıştırıldığında su kaynamaya başlamaktadır. Aynı su birkaç dakika sonra donmaya başlamakta ve sonunda da buz kaybolmaktadır. Her basmakta ne olduğunu açıklayınız.
- 11.102 Herhangi bir maddenin faz diyagramında sıvı-buhar sınır çizgisi belli bir noktada aniden durmaktadır. Neden?
- 11.103 Bazı alkali halejenürlerin iyonları arasındaki mesafe aşağıdaki gibidir:

NaCl	NaBr	NaI	KCl	KBr	KI
282 pm	299 pm	324 pm	315 pm	330 pm	353 pm

Örgü enerjilerini, iyonlar arası mesafenin tersine karşı grafiğe geçirin. Bu grafiği örgü enerjisinin iyonlara arası mesafeye olan bağlılığı açısından nasıl açıklarsınız? Aradaki etkileşimi hangi yasa belirler (Örgü enerjileri için Çizelge 9.1'e bakınız).

- 11.104 Hangisinin yoğunluğu daha fazladır. Kristal SiO_2 mi yoksa amorf SiO_2 mi? Neden?
- 11.105 2009 yılında Çin'de binlerce bebek kirlemiş sütten hastalandı. Firma sulandırılmış süte proteini artırmak için yüksek azot içeriğinden dolayı melamin eklemişti ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$). Ne yazık ki melamin, başka bir safsızlık olan siyanürik asit ($\text{C}_3\text{H}_2\text{N}_4\text{O}_3$) ile hidrojen bağları yaparak çökelek vermekteydi. Ortaya çıkan taş benzeri ürün de bebeklerde şiddetli böbrek bozukluklarına sebep oldu. Bu iki molekül arasında meydana gelen, hidrojen bağlı kompleksini çiziniz?

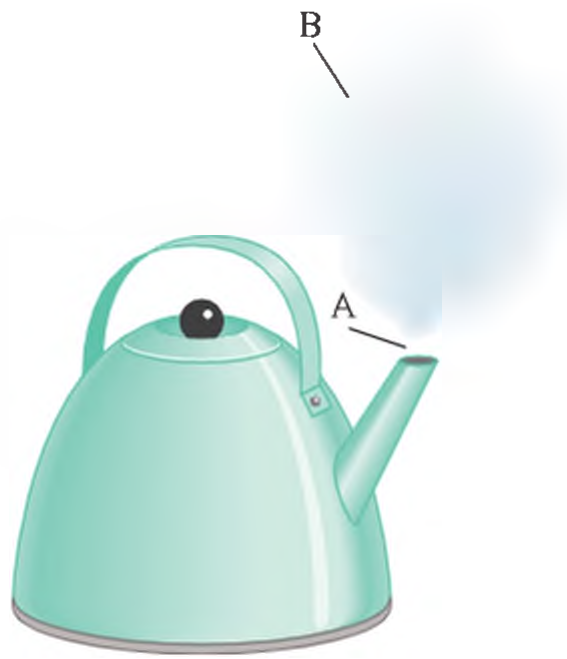


- 11.106 Kapalı bir kaptaki sıvının buhar basıncı aşağıdakilerden hangisine bağlıdır? (a) sıvının üstündeki boşluğun hacmine (b) mevcut olan sıvı miktarına (c) sıcaklığa (d) sıvı içindeki moleküller arası kuvvetlere.
- 11.107 Bir öğrenciye W, X, Y ve Z katıları veriliyor. Bu katılardan Z hariç hepsi metalik parlaklığa sahiptir. Öğrenciye bu katıların altın, kurşun sülfür, kuartz (SiO_2) ve iyot olabileceği söyleniyor. Öğrenci yaptığı araştırmada şu sonuçları buluyor (a) W'nin elektrik iletkenliği iyi; X, Y ve Z'nin ise kötüdür. (b) Çekiç ile vurulduğunda W ezilmekte, X parçalara bölünmekte, Y toz haline gelmekte ve Z ise çatlamaktadır (c) Bek alevi altında ısıtıldığında Y biraz

stüblimleşmeyle birlikte erimekte, X, W ve Z erime-mektedir (c) 6 M HNO_3 ile muamele edinildiğinde X çözünürken W, Y ve Z etkilenmemektedir. Bu gözlemlere göre W, X, Y ve Z katılarını belirleyiniz.

- 11.108** Aşağıdaki ifadelerden hangileri yanlıştır? (a) Sadece geçici dipol momente sahip olan moleküllerde dipol- dipol etkileşimleri en yüksektir (b) Hidrojen atomuna sahip olan tüm bileşikler hidrojen bağı yapabilir. (c) Atom, molekül ve iyonların hepsinde dağılıma kuvvetleri vardır. (d) İyon-indüklenmiş dipol etkileşiminin büyüklüğü sadece iyon yüküne bağlıdır.

- 11.109 Aşağıdaki şekilde ocak üzerinde kaynayan bir çaydanlık gösterilmiştir. Buradaki A ve B bölgelerindeki fazları tanımlayınız.



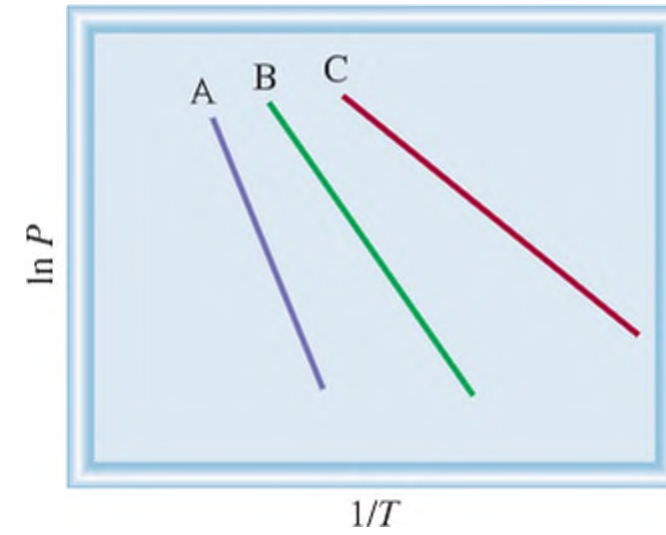
- 11.110** Mars'ın güney kutbu *kuru buzla* kaplıdır ve yazın kısmen stüblimleşir. Sıcaklık kışın 150 K'e düştüğünde CO_2 buharı tekrar yoğunlaşır. CO_2 'in stüblimleşme ısı 25,9 kJ/mol olduğuna göre, Mars yüzeyindeki atmosfer basıncını hesaplayınız. [*İpucu:* Kuru buzun normal stüblimleşme sıcaklığını hesaplamak için Şekil 11.41 ile Eşitlik 11.5'i kullanınız.]
- 11.111 Gaz, sıvı ve katıların özellikleri birçok açıdan birbirlerinden farklıdır. Aşağıdaki gözlemleri açıklamak için kinetik molekül kuramını (Kesim 5.7) nasıl kullanırsınız? (b) gazdan katıya gittikçe sıkıştırılabilirliğin zorlaşması (b) katıların belli bir şekli olmasına rağmen gaz ve sıvıların olmaması (c) çoğu maddenin hacminin, katıdan sıvıya ve oradan da gaza giderken artması.
- 11.112** Aşağıdaki madde çiftlerinden hangilerinin daha yüksek kaynama noktası olduğunu belirtiniz. Her durumda ilgili moleküller arası kuvvetleri belirleyiniz ve seçiminizin nedenini kısaca açıklayınız (a) K_2S veya $(\text{CH}_3)_3\text{N}$, (b) Br_2 ve $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
- 11.113 Suyu düşen ufak bir yağ damlası hemen küresel bir şekil almaktadır. Neden? (*İpucu:* Yağ polar olmayan moleküllerden oluşur ve su ile temastan kaçınır).

- 11.114** Aynı sıcaklık ve yoğunluk şartlarında aşağıdakilerden hangisi daha az ideal olarak davranır: CH_4 'mü yoksa SO_2 'mi? Açıklayınız.

- 11.115 İkinci periyot elementlerinin florürleri ve erime noktaları aşağıdaki gibidir: LiF , 845 °C ; BeF_2 , 800 °C; BF_3 , -126,7 °C ; CF_4 , -184 °C ; NF_3 , -206,6 °C; OF_2 , -223,8 °C ve F_2 , -219,6 °C. Her bileşikteki moleküller arası kuvvetlerin türlerini sınıflandırınız.

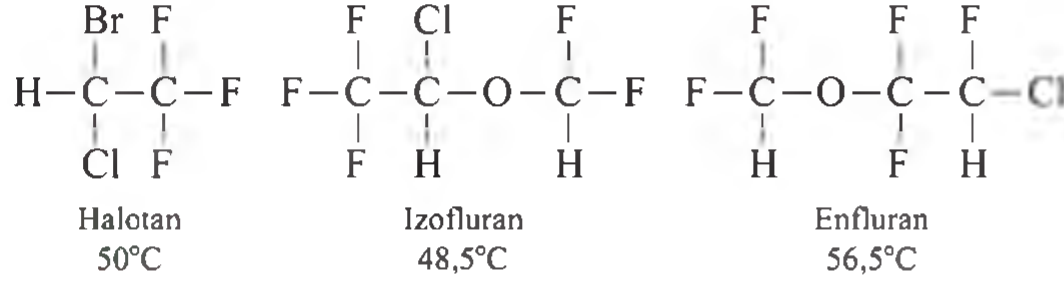
- 11.116** Gaz halindeki moleküller iyodun standart oluşma entalpisi 62,4 kJ/mol'dür. Bu değeri kullanmak suretiyle moleküller iyodun 25 °C'deki stüblimleşme entalpisini hesaplayınız.

- 11.117 Aşağıdaki grafikler methanol (CH_3OH), metil klorür (CH_3Cl) ve propan (C_3H_8) için çizilmiş olan $\ln P$ 'ye karşı $1/T$ grafikleridir. Burada P buhar basıncıdır. Buna göre, her bir grafiğin yukarıda verilen hangi bileşiğe ait olduğunu belirleyiniz.

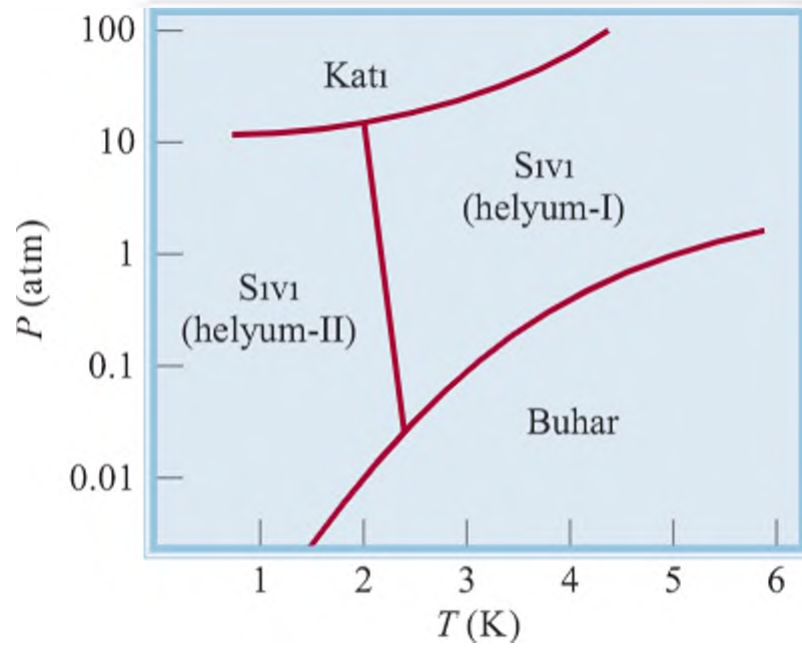


- 11.118** 20°C'deki 50 g suya 150,0 kJ ısı ilave edildiği zaman en son hal ve sıcaklık ne olur? Buharın özgül ısı 1,99 J/g · °C
- 11.119 Katı LiCl 'de Li^+ ve Cl^- iyonları arasındaki mesafe 257 pm iken gaz halindeki LiCl 'de 203 pm'dir. Bağ uzunluklarındaki bu farkın nedenini açıklayınız.
- 11.120** Hidratlaşma ısı, yani iyonlar suda hidratize olurken meydana gelen ısı değişimi büyük bir oranda iyon-dipol etkileşimlerine dayanır. Alkali metal iyonlarının hidratlaşma ısıları şöyledir: Li^+ , -520 kJ/mol ; Na^+ , -405 kJ/mol ve K^+ , -321 kJ/mol. Bu değişimi eğilimine bir açıklama getiriniz.
- 11.121 Eğer su doğrusal bir molekül olsaydı (a) su molekülleri yinede polar olur muydu? (b) su molekülleri yinede birbiri ile hidrojen bağları oluşturabilir miydi?
- 11.122** Verilen şu değişimler için 25°C'deki ΔH° değerlerini hesaplayınız: (a) $\text{Br}_2(\text{s}) \rightarrow \text{Br}_2(\text{g})$ ve (b) $\text{Br}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Br}(\text{g})$. İlgili kuvvetlere dayanarak her iki değişimdeki ΔH° değerlerini yorumlayınız {*İpucu:* Çizelge 9.4'e bakınız. $\Delta H^\circ_{\text{f}} [\text{Br}_2(\text{g})] = 30,7 \text{ kJ/mol}$ }
- 11.123 Gaz halindeki veya oldukça uçucu anestetik malzemeler, solunduktan sonra alveoller tarafından alınarak hızla dolaşım sistemine oradan da beyne nüfus ettiğinden, cerrahide çok kullanılmaktadır. Aşağıda birkaç tane çok kullanılan gaz halindeki anestetik maddeler ve kaynama noktaları verilmiştir.

Moleküller arası kuvvetlere dayanarak bu anestetik maddeleri kullanmanın avantajlarını tartışınız [İpucu: Beyin zarının iç kısmı polar bir bölgeden oluşmuştur]



- 11.124** Su dolu bir beher kapalı bir kaba yerleştiriliyor (a) sıcaklığın düşürülmesinin (b) kabın hacminin iki katına çıkarılmasının (c) behere daha fazla su eklenmesinin, suyun buhar basıncı üzerindeki etkisini tahmin ediniz.
- 11.125** Aşağıda helyumun faz diyagramı verilmiştir. Helyum, helyum I ve helyum II diye bilinen iki farklı sıvı faza sahip tek maddedir. (a) Helyum-II'nin mevcut olabileceği en yüksek sıcaklık nedir? (b) Katı helyumun mevcut olabileceği en düşük basınç nedir? (c) helyum-I'in normal kaynama sıcaklığı nedir? (d) katı helyum sublimleşebilir mi? (e) kaç tane üçlü nokta vardır?



- 11.126** Şekil 11.26'ya başvurarak, birim hücrelerdeki iyon sayısını belirleyiniz.
- 11.127** Ozon (O₃) altın ve platin dışındaki metallerin çoğunu yükseltgeyebilen kuvvetli bir yükseltgendir. Ozon için en uygun testlerden biri cıvadır. Ozona maruz kalan cıva matlaşır ve serbestçe akma yerine cama yapışır. Bu tepkime için denkleştirilmiş bir eşitlik yazınız. Ozon ile etkileşen cıvanın hangi özelliği değişmiş olabilir?
- 11.128** Bir miktar kireçtaşı (CaCO₃) kapalı bir kapta kısmen bozunana kadar ısıtılmaktadır. Oluşan tepkimenin denklemini yazınız ve işlemde kaç tane faz olduğunu belirtiniz.
- 11.129** Bilgisayar çiplerinde kullanılan silisyumun safsızlığı 10⁻⁹ dan daha düşük olmalıdır, yani her 10⁹ silisyum atomu için birden daha az safsızlık atomu olmalıdır. Silisyum, kuartzın (SiO₂) kok (kok ise kö-

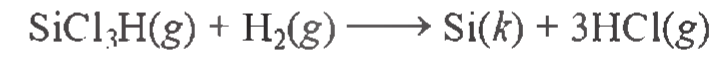
mürün damıtılmasında elde edilen karbondur) kömürü ile 2000°C'de indirgenmesinden elde edilir.



Sonra, katı silisyum 350°C'de hidrojen klorürle muamele edilerek triklorasilan (SiCl₃H) gazı haline getirilir ve diğer katı safsızlıklardan ayrılır.



Daha sonra yukarıdaki tepkime 1000°C'de tersine döndürülerek ultra saf silisyum elde edilir.



(a) Triklorasilanın -2°C'deki buhar basıncı 0.258 atm olduğuna göre, normal kaynama noktası nedir? Triklorasilanın kaynama noktası moleküller arası kuvvetleriyle uyumlu mudur? (Triklorasilanın molar buharlaşma ısısı 28.8 kJ/mol) (b) Si ve SiO₂ ne tür kristaller oluşturur (c) Silisyum elmas kristali yapısına sahiptir (Şekil 11.28'e bakınız) ve kübik birim hücresinde sekiz Si atomu içerir (kenar uzunluğu $a = 543 \text{ pm}$). Eğer 1cm³ saf silisyum içinde 1.0×10^{13} tane bor (B) atomu varsa, numunede her B atomuna karşılık kaç tane Si atomu vardır? Bu durumda elektronik saflıktaki silisyumun 10⁻⁹ luk safsızlık ölçütü sağlanır mı?

- 11.130** Karbon ve silisyum periyodik cetvelin 4A grubuna dahil olup aynı elektron dizilişine sahiptir (ns^2np^2). Neden silisyum dioksit (SiO₂) karbondioksitten (CO₂) daha yüksek erime noktasına sahiptir?
- 11.131** Dödüklü tencere, basınç belli bir değerin üzerine çıkınca buharın kaçmasına izin veren kapalı bir kaptır. Dödüklü tencere pişirme zamanını nasıl kısaltır?
- 11.132** Havası boşaltılmış 5.00 litrelik bir kaba 65 °C sıcaklıkta 1.20 g su enjekte edilmektedir. Sistem denge haline gelince bu suyun % kaç buhar halindedir. Su buharının ideal davrandığını ve sıvı suyun hacminin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğunu varsayınız. Suyun buhar basıncı 65 °C sıcaklıkta 187,5 mmHg'dir.
- 11.133** Brokoli gibi sebzeleri kaynar su yerine su buharında pişirmenin avantajları nelerdir?
- 11.134** Kübik birim hücre içerisine kürelerin en etkin şekilde istiflenmesine, yani küreler tarafından hücrenin doldurabilme yüzdesine "istiflenme verimi" denir. Buna göre: basit kübik, iç merkezli kübik ve yüzey merkezli kübik hücrelerin istiflenme verimlerini hesaplayınız (İpucu: Şekil 11.22'den faydalanınız. küre hacmi $= \frac{4}{3} \pi r^3$ olup, r kürenin yarıçapıdır.)
- 11.135** Aşağıdaki olayların her biri için bir açıklama getiriniz (a) katı argon (e.n. -189,2°C ve k.n. -185,7 °C) şöyle hazırlanır: argon gazı içeren bir kap sıvılaştırılarak damıtılmasında elde edilen karbondur) kömürü ile 2000°C'de indirgenmesinden elde edilir.

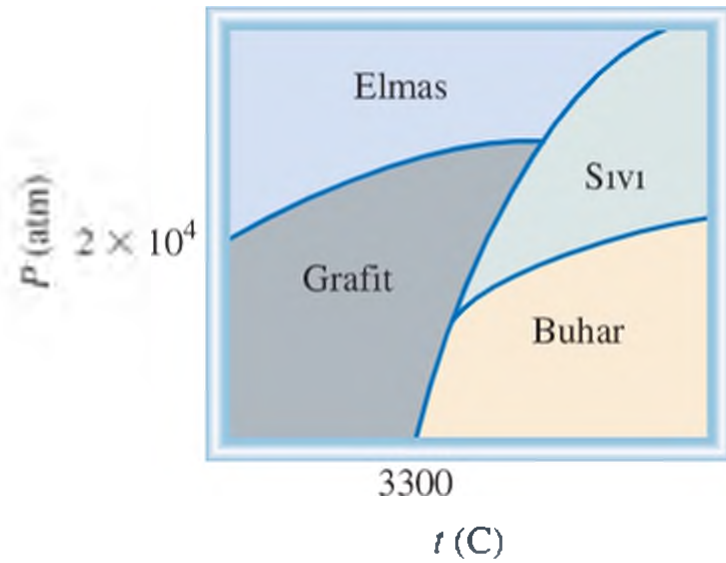
kadar sıvı azot (k.n. -195.8°C) içinde tutulur ve sonra bu kap bir vakum pompasına bağlanır. (b) sikloheksanın (C_6H_{12}) erime noktası. katı sikloheksan üzerindeki basınç arttıkça yükselir. (c) Belirli yükseklikteki bulutlar -10°C 'de su damlacıkları içerir. (d) Su dolu bir behere biraz kuru buz konulunca suyun üstünde bir sis olur.



11.136 Argon 40 K 'de yüzey merkezli kubik kristaller şeklinde kristalleşir. Argonun atom yarıçapı 191 pm olduğuna göre katı argonun yoğunluğunu hesaplayınız.

11.137 Bir kimya öğretmeni aşağıdaki ilginç deneyi yapıyor. Öğrenciler gelmeden hemen önce, erlendeki suyu bek alevi ile kaynatmaya kadar ısıtıyor. Sonra erleni bek alevinden alıyor ve lastik tıpa ile kapatıyor. Ders başlayınca erleni eline alarak kenarlarına buz sürmek suretiyle suyu kaynatacağını söylüyor. Öğrencilerin şaşkın bakışları altında kaynama gerçekleşiyor. Bu olayı açıklayabilir misiniz?

11.138 Aşağıda karbon için verilen faz diyagramına bakarak, şu soruları yanıtlayınız: (a) Kaç tane üçlü nokta vardır ve bu noktalarda hangi fazlar birlikte bulunur? (b) Elmas mı yoksa grafit mi daha yüksek yoğunluğa sahiptir. (c) Verilen faz diyagramını kullanarak, grafitten sentetik elması nasıl yaparsınız?



11.139 Yüzme antranörleri, kulağa kaçmış "suyun çıkarılması" için bir damla alkol (etanol) damlatılmasını önerirler. Bu etkiyi moleküler açıdan açıklayınız

11.140 Moleküller arası kuvvetler kavramını düşünerek, tutacağını kaldırdığımız bir bastonun diğer ucunun neden yükseldiğini açıklayınız.

11.141 Neden narenciye üreticileri donmayı önlemek için ağaçlara su püskürtürler?



11.142 Kullanılmış tungsten ampullerinin iç kısmındaki koyu noktaların kaynağı nedir? Ampullerin argon gazı ile doldurulmasının amacı nedir?

11.143 Diklorflormetanın (Cl_2F_2) normal kaynama noktası -30°C olup kritik sıcaklığı 112°C ve karşılık gelen kritik basıncı 40 atm 'dir. Eğer bu gaz 20°C 'de 18 atm 'e kadar sıkıştırılırsa yoğunlaşır mı? Cevabınız grafiksel bir açıklamaya dayanmalıdır.

11.144 Bir öğrenci beherdeki soğuk suyu bek alevi ile ısıtmaktadır. Öğrenci gazı yaktığında beherin dış yüzeyinde suyun yoğunlaştığını görüyor. Nedenini açıklayınız.

11.145 Suyun 110°C 'den -10°C 'ye soğutulma grafiğini çizin. 0°C 'nin altında oluşan ve sonra buza dönişen süper soğumuş sıvıyı nasıl gösterirsiniz? Tüm bu işlem sırasında basınç 1 atm 'de tutulacaktır. Eğrilerin nicel olarak çizilmeleri gerekmez.

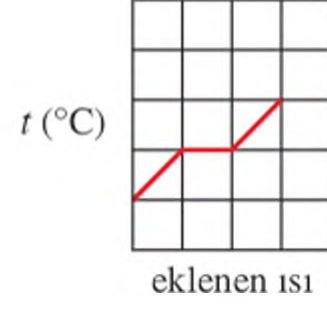
11.146 Demir iç merkezli kubik yapıda kristalleşir. X-ışını kırınımı ile tespit edilen hücre kenar uzunluğu 287.7 pm olarak bulunmuştur. Demirin yoğunluğu 7.874 g/cm^3 olduğuna göre Avagadro sayısını hesaplayınız.

11.147 Metanolün kaynama noktası 65.0°C ve metanol buharının standart oluşma entalpisi -201.2 kJ/mol 'dir. Metanolün 25°C 'deki buhar basıncını hesaplayınız (mmHg cinsinden) (*İpucu:* metanolün diğer termodinamik verileri için Ek-3'e bakınız.)

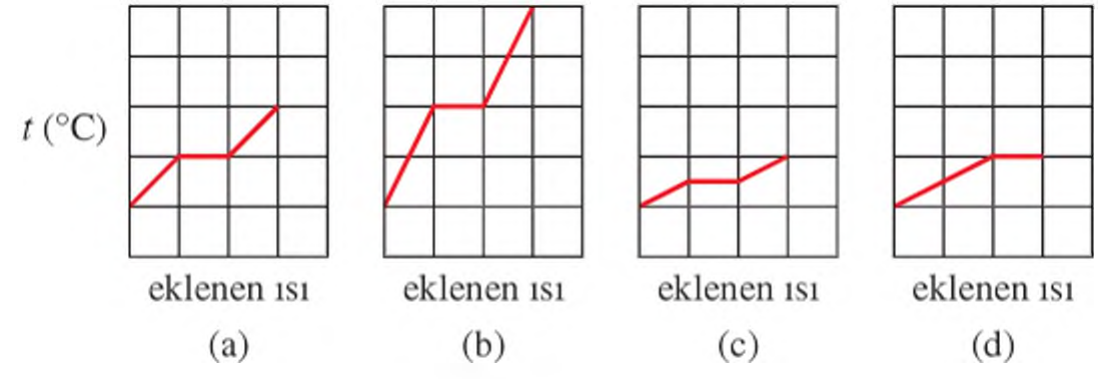
11.148 Bir kenarı 0.171 cm olan küp şeklindeki bir alkali metal. 1235 K 'de 0.843 L 'lık bir kap içinde buharlaştırılmaktadır. Buhar basıncı 19.2 mmHg 'dir. Bu metali, picometre cinsinden yarıçapını ve yoğunluğunu hesaplamak suretiyle tanımlayınız (*İpucu:* Şekil 8.5, 11.22, 11.29 ve Kimya El kitabına başvurmamız gerekir)

11.149 9,6 L'lik kapalı bir kap 2,0 g su ihtiva etmektedir. Suyun sadece yarısının sıvı fazda kaldığı durum için sıcaklığı °C cinsinden hesaplayınız (suyun farklı sıcaklıklardaki buhar basınçları için Çizelge 5.3'e bakınız)

11.150 Bir su numunesi sabit hızda ısıtıldığında aşağıdaki gibi davranmaktadır



Aynı miktarda ısı aktarımı ile eğer su kütlesi iki katına çıkarılırsa, aşağıdakilerden hangisi sıcaklık değişimini en iyi tanımlar. Tüm grafiklerin ölçekleri aynıdır.



(Journal of Chemical Education, Vol. 79, No. 7, 2002, pp. 889–895; © 2002, Division of Chemical Education, Inc. izni ile)

11.151 Bakır metalinin elektriksel iletkenliği sıcaklıkla azalmakta, ancak CuSO_4 çözeltisinin elektriksel iletkenliği sıcaklık ile artmaktadır. Bu olayı açıklayınız.

11.152 İdeal davranış gösterdiğini farz ederek, gaz halindeki HF'nin normal kaynama noktasındaki ($19,5^\circ\text{C}$) yoğunluğunu hesaplayınız. Aynı koşullarda deneysel olarak bulunmuş değer $3,10 \text{ g/L}$ 'dir. Sizin bulduğunuz değer ile deneysel değer arasındaki fark neden kaynaklanmış olabilir.

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 11.153 Hem kalsiyum hem de stronsiyum yüzey merkezli kübik yapıda kristalleşmektedir. Hangi metalin yoğunluğu daha fazladır?
- 11.154 ΔH_{vap} değerinin büyük veya küçük olmasına bağlı olarak, bir sıvının buhar basıncı sıcaklığa daha duyarlı olabilir mi?
- 11.155 Sıcaklık 85°C 'den 95°C 'ye çıktığında buhar basıncı iki katına çıkan bir sıvının molar buharlaşma ısını tahmin ediniz.

- 11.156 Bir yaz günü Florida'da sıcaklık 95°F ve bağıl nem % 65 olarak ölçülmüştür. Eğer su buharının tamamı su şeklinde yoğunlaşmışsa bir öğrenci yurdunun odasında bulunan suyun hacmi ne olabilir?

Alıştırmaların Cevapları

- 11.1 (a) iyonik ve dispersiyon (dağılma) kuvvetleri (b) dispersiyon kuvvetleri (c) dipol-dipol ve dağılma kuvvetleri 11.2 Sadece (c) 11.3 $10,50 \text{ g/cm}^3$ 11.4 315 pm 11.5 İki 11.6 369 mmHg 11.8 173 kJ

Bölüm 12

Çözeltilerin Fiziksel Özellikleri



Küp şekerin suda çözünmesi. Bir çözeltinin özellikleri, saf çözücüsünden belirgin bir şekilde farklıdır.

Bölüm Başlıkları

- 12.1 Çözelti Türleri
- 12.2 Çözelti Oluşumuna Moleküler Bakış
- 12.3 Derişim Birimleri
- 12.4 Çözünürlüğe Sıcaklığın Etkisi
- 12.5 Gazların Çözünürlüğüne Basıncın Etkisi
- 12.6 Elektrolit Olmayan Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri
- 12.7 Elektrolit Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri
- 12.8 Kolloitler

Toplu Bakış

- Konuya, maddenin üç hali olan katı, sıvı ve gazdan oluşan farklı çözelti türlerini inceleyerek başlayacağız. Ayrıca bir çözeltiyi, içerisinde çözünen madde miktarına göre doymamış, doymuş ve aşırı doymuş olarak da sınıflandıracğız (12.1)
- Sonra, moleküler seviyede çözeltilerin oluşumunu inceleyeceğiz ve moleküller arası kuvvetlerin çözelti enerjisine ve çözünürlüğe etkisini göreceğiz. (12.2)
- Kütlece yüzde, mol kesri, molarite ve molalite olmak üzere başlıca dört tür derişim birimini ve bunların birbirine dönüştürülmesini göreceğiz. (12.3)
- Genel olarak, gazların ve aynı zamanda sıvı ve katıların çözünürlüğü üzerinde sıcaklığın belirgin bir etkiye sahip olduğunu göreceğiz. (12.4)
- Sıvı ve katıların çözünürlüğü üzerinde basıncın etkisinin olmadığını, ancak gazların çözünürlüğü üzerinde büyük etkisi olduğunu göreceğiz. Gazların çözünürlüğü ve basınç arasındaki bağıntı, Henry yasası ile verilecektir. (12.5)
- Bir çözeltinin buhar basıncı, erime noktası, kaynama noktası ve osmotik basınç gibi fiziksel özelliklerinin çözünen türün ne olduğuna değil, sadece derişimine bağılı olduğunu öğreneceğiz. Kolligatif özellik olarak adlandırılan bu özelliğın, elektrolit olmayan çözeltilere uygulamalarını inceleyeceğiz (12.6).
- Daha sonra, elektrolit çözeltilerin kolligatif özelliklerini ve bu özelliklere iyon çifti oluşumu etkisini öğreneceğiz (12.7).
- Bu bölüm, bağımsız moleküllerden daha büyük tanecikler oluşturarak ortama dağılmış olan kolloitlerin kısa bir incelenmesi ile son bulacaktır (12.8).

Kimyasal tepkimelerin çoğu, saf katılar, sıvılar ve gazlar arasında değil, suda veya diğer çözücülerde çözülmüş iyonlar ve moleküller arasında meydana gelmektedir. Bölüm 5 ve 11’de gaz, sıvı ve katıların özellikleri verilmişti. Bu bölümde ise, çözeltilerin özelliklerini inceleyeceğiz. Bunu yaparken, çözünürlüğe ve çözeltilerin diğer fiziksel özelliklerine, moleküler arası kuvvetlerin rolü üzerinde duracağız.

12.1 Çözelti Türleri

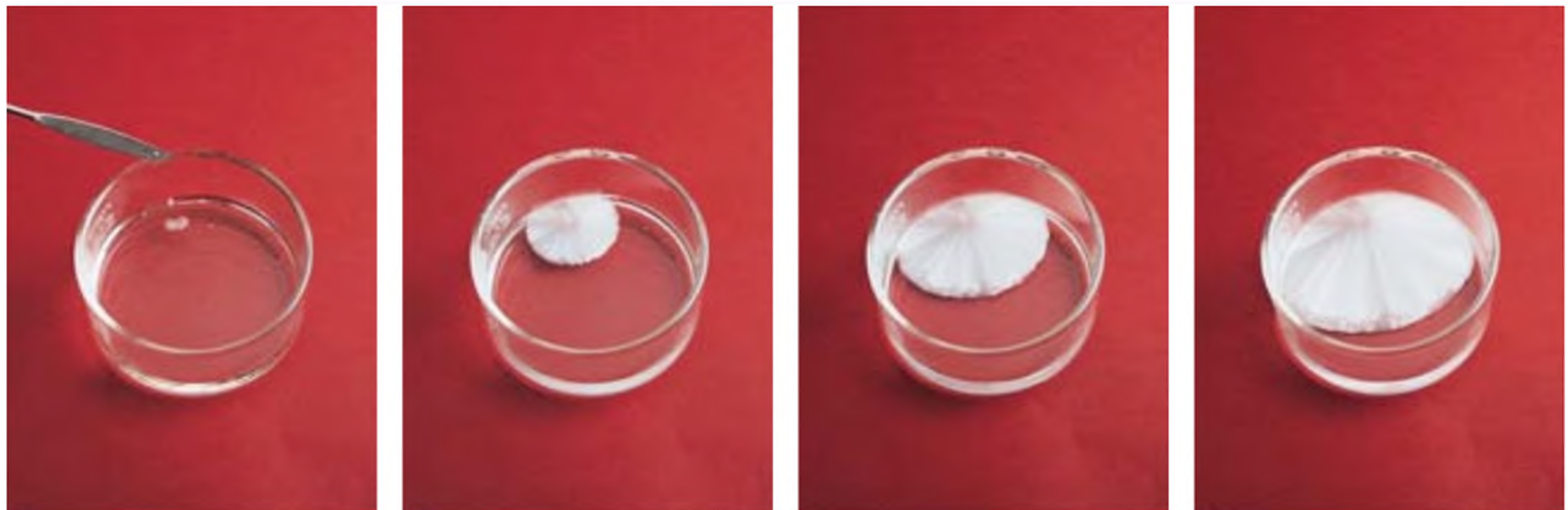
Kesim 4.1’de bir çözeltinin iki veya daha fazla maddenin homojen karışımı olduğundan söz ettik. Bu tanım çözelti bileşenlerinde herhangi bir kısıtlamaya gitmese de asıl hallerine (katı, sıvı ya da gaz) bağlı olarak çözelti türlerini altı gruba ayırabiliriz. Çizelge 12.1’de çözelti türlerinin her birine örnekler verilmiştir.

Burada en az bir sıvı bileşen içeren çözeltiler üzerinde durulacaktır. Bunlar gaz—sıvı, sıvı—sıvı ve katı—sıvı çözeltileridir. İnceleyeceğimiz çözeltilerin birçoğunda sıvı çözücü olarak su yer alacaktır.

Kimyacılar çözeltileri en fazla çözebileceği madde miktarıyla yani çözebilme kapasitesi ile tanımlarlar. **Doymuş çözelti**, bir çözücünde belirli bir sıcaklıkta en fazla miktarda çözünen madde içeren bir çözeltidir. **Doymamış çözelti** ise, çözebilme kapasitesinden daha az çözünen içerir. Üçüncü bir tür olan **aşırı doymuş çözelti**, doymuş bir çözeltide var olması gerekenden daha fazla çözünen madde ihtiva etmektedir. Aşırı doymuş çözelti çok kararlı değildir. Zamanla, çözünenin bir kısmı aşırı doymuş çözeltiden kristaller halinde ayrılır. **Kristallenme**, çözülmüş katının çözeltiden ayrılması ve kristaller oluşturma işlemidir (Şekil 12.1). Çökme ve kristallenmenin her birinin, aşırı doy-

Çizelge 12.1 Çözelti Türleri

Bileşen 1	Bileşen 2	Çözeltinin Son Hali	Örnekler
Gaz	Gaz	Gaz	Hava
Gaz	Sıvı	Sıvı	Maden suyu (suda CO_2)
Gaz	Katı	Katı	Palladyum da H_2 gazı
Sıvı	Sıvı	Sıvı	Suda etanol
Katı	Sıvı	Sıvı	Suda NaCl
Katı	Katı	Katı	Pirinç (Cu/Zn), lehim (Sn/Pb)



Şekil 12.1 Aşırı doymuş sodyum asetat çözeltisine (sol tarafta), küçük bir kristal tanecik eklendiğinde, hızlı bir şekilde sodyum asetat kristalleri oluşur.

muş bir çözeltiliden katı maddenin ayrılması olarak tanımlandığına dikkat ediniz. Ancak bu iki çökme işlemi sonucu oluşan çöken maddeler farklılık gösterir. Çökelekler küçük taneciklerden oluşurken, kristaller büyük ve düzgün taneciklerden oluşurlar.

12.2 Çözelti Oluşumuna Moleküler Bakış

Kesim 6.6'da, çözünme işlemi makroskopik bakış açısı ile tartışılmıştır.

Katı ve sıvılarda molekülleri bir arada tutmakta olan moleküller arası çekim kuvvetleri, çözelti oluşumunda da kilit bir rol oynamaktadır. Bir madde (çözünen), başka bir madde (çözücü) içerisinde çözündüğü zaman, çözünen tanecikler çözücünün her yerine dağılır. Çözünen tanecikler normal olarak, çözücü moleküllerinin arasına girerler. Çözünen bir taneciğinin bir çözücü molekülünün yerine geçebilmesi, üç tür etkileşiminin bağlı güçlerine bağlıdır:

- çözücü-çözücü etkileşimi
- çözünen-çözünen etkileşimi
- çözücü-çözünen etkileşimi

Çözünme sürecinin basitçe üç ayrı basamakta gerçekleştiğini düşünebiliriz (Şekil 12.2). Birinci basamak çözücü moleküllerinin birbirinden ayrılması, ikinci basamak çözünen moleküllerin birbirinden ayrılmasıdır. Bu basamaklar moleküller arası çekim kuvvetlerini yenmek için bir miktar enerji gerektirir ve bu yüzden, endotermiktir. Üçüncü basamakta çözücü ve çözünen molekülleri karışır. Bu basamak endotermik veya ekzotermik olabilir. Çözelti ısı $\Delta H_{\text{çözelti}}$, şu şekilde verilir:

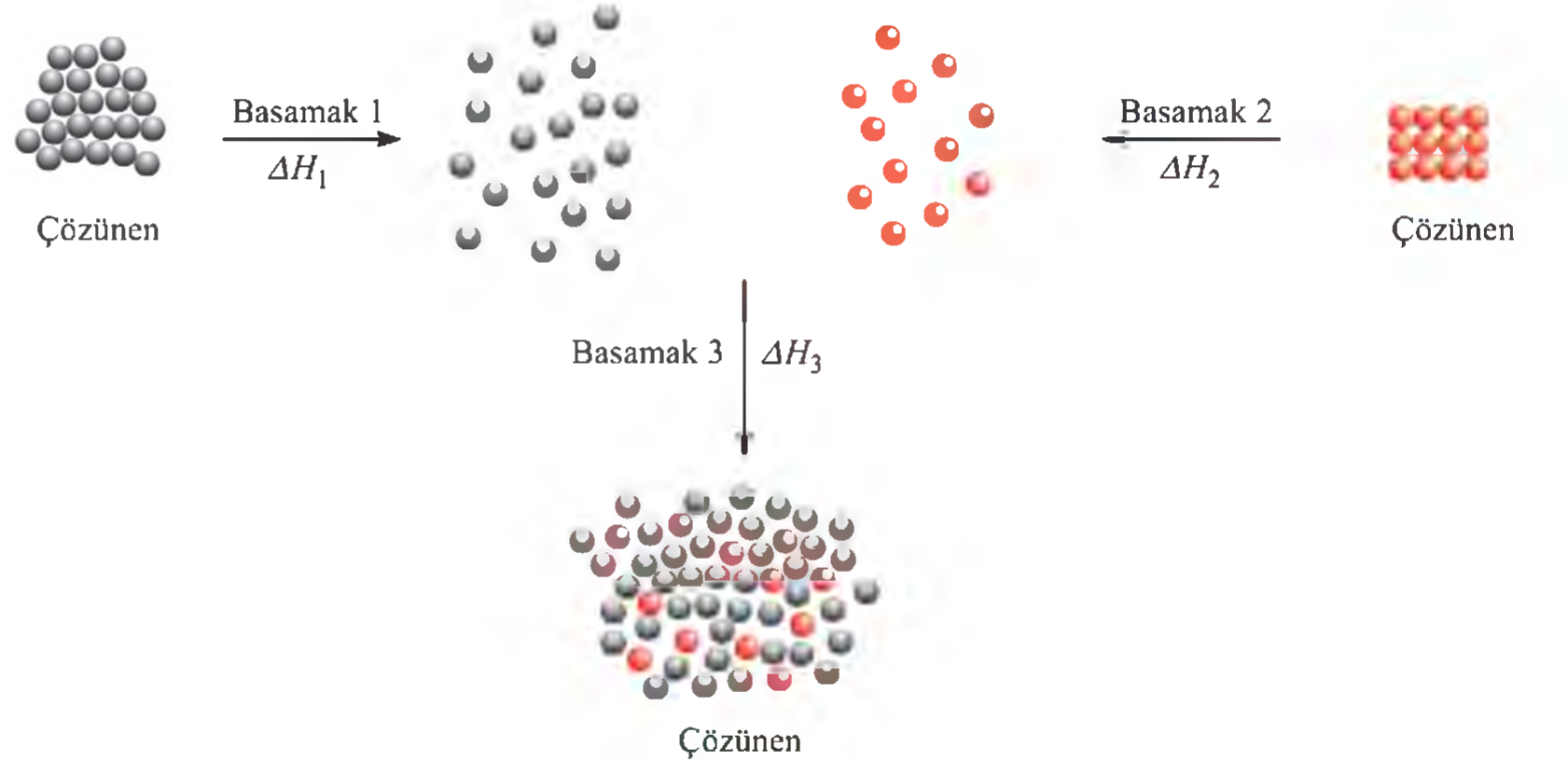
$$\Delta H_{\text{çözelti}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

Bu eşitlik Hess yasası'nın bir uygulamasıdır.

Eğer çözünen-çözücü etkileşimi, çözünen-çözünen ve çözücü-çözücü etkileşiminden daha kuvvetli ise çözünme işlemi yani çözelti oluşumu yeğlenir ve çözünme ekzotermik olarak gerçekleşir ($\Delta H_{\text{çözelti}} < 0$). Eğer çözünen-çözücü etkileşimi, çözünen-çözünen ve çözücü-çözücü etkileşimlerinden daha zayıf ise çözünme işlemi yani çözelti oluşumu endotermiktir ($\Delta H_{\text{çözelti}} > 0$).

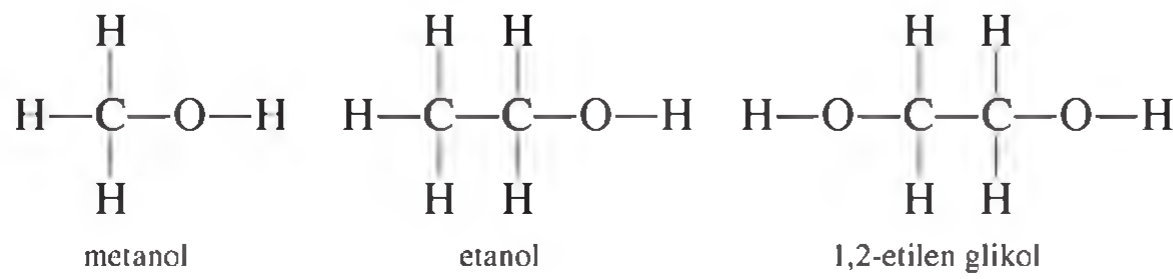
Çözünenin kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti, kendi molekülleri ile çözücü molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden daha fazla ise çözünenin çözücü içinde neden hiç çözünmediğini merak edebilirsiniz. Çözelti oluşumu bütün kimyasal ve fiziksel süreçler gibi iki etken tarafından yürütülür. Bunlardan birincisi, çözünme işleminin endotermik mi, yoksa ekzotermik mi olduğunu belirleyen enerjidir. İkinci etken ise, bütün doğa olaylarının yapısında var olan düzensizlik eğilimidir. Yeni bir

Şekil 12.2 Çözünme süreci moleküler düzeyde üç basamakta olur: Önce çözücü ve çözünen molekülleri ayrıştır (basamak 1 ve 2). Sonra bu çözücü ve çözünen molekülleri karıştır (basamak 3).



deste iskambil kağıtları birkaç kere karıldığında nasıl karışık duruma geliyorsa, başlangıçta düzenli olan çözünen ve çözücü molekülleride çözelti içinde gelişigüzel, yani düzensiz bir şekilde dağılır. Saf haldeki çözücü ve çözünen: atomlar, moleküller veya iyonlar uzayda üç boyutlu konumlarıyla, aşağı yukarı düzenli bir yapıya sahiptir. Bir çözünen bir çözücü içinde çözüldüğü zaman, bu düzenin büyük bir kısmı yok olur (bak. Şekil 12.2). Bu nedenle, düzensizlik veya gelişigüzel dağılımadaki artış çözünme işlemine katkıda bulunur. Çözünme işlemi endotermik bile olsa, herhangi bir maddenin çözünme eğiliminde olması sistemin düzensizliğindeki artıştır.

Çözünürlük, belirli bir sıcaklıktaki bir çözücünde çözünebilen madde miktarının bir ölçütüdür. “Benzer benzeri çözer” ifadesi, bir maddenin bir çözücü içindeki çözünürlüğünün tahmin edilmesine yardımcı olur. Bu ifade; benzer büyüklük ve türdeki moleküller arası kuvvetlere sahip iki maddenin birbiri içinde iyi çözüldüğü anlamına gelir. Örneğin karbon tetraklorür (CCl_4) ve benzen (C_6H_6), her ikisi de polar olmayan sıvılardır. Bu maddelerde mevcut olan tek moleküllerarası kuvvet dağılıma kuvvetleridir (bak. Kesim 11.2). Bu iki sıvı karıştırıldığında, CCl_4 ve C_6H_6 molekülleri arasındaki çekim kuvveti, karışmadan önceki saf CCl_4 molekülleri ve C_6H_6 molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden daha büyüktür. Bu nedenle birbiri içinde iyi çözünürler. *İki sıvı birbiri içinde her oranda tamamen çözünüyorsa*, bu iki sıvıya **karışabilir** sıvılar denir. Metanol, etanol ve 1,2-etilen glükol gibi alkoller su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturabildiğinden, bu alkoller su ile her oranda karışırlar.



Sodyum klorür suda çözüldüğünde, çözeltideki iyonlar, iyon-dipol etkileşiminden ileri gelen hidratlaşma nedeniyle kararlılırlar. İyonik bileşiklerin genellikle su, sıvı amonyak ve sıvı hidrojen florür gibi polar çözücülerde, benzen ve karbon tetraklorür gibi apolar çözücülere göre daha iyi çözünebildiği bilinmektedir. Apolar çözücü moleküllerinin dipol momenti olmadığından, Na^+ ve Cl^- iyonlarını etkili olarak sarmazlar. *Bir iyon veya molekülün çözücü moleküllerince belirli bir düzende sarılması solvasyon denir.* Bu işlemde çözücü yani çevreleyen tür su olduğunda, işlem **hidratlaşma** olarak adlandırılır. İyon ile apolar bileşikler arasında baskın olan moleküllerarası etkileşim, iyon – indüklenmiş dipol etkileşimidir ve iyon-dipol etkileşiminden çok daha zayıftır. Buna göre, iyonik bileşikler apolar çözücülerde oldukça düşük çözünürlüğe sahiptirler.

Çözücü ve çözünen türler arasındaki moleküller arası çekim kuvvetlerine bağlı olarak çözünürlüğün öngörülebilmesi, Örnek 12.1’de gösterilmektedir.

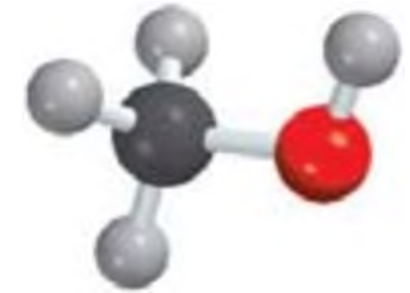
Örnek 12.1

Aşağıda verilen durumlarda, çözünürlükleri kıyaslayınız: (a) Benzen (C_6H_6 , $\mu = 0$ D) içerisinde ve su ($\mu = 1.87$ D) içerisinde brom (Br_2). (b) karbon tetraklorür (CCl_4 , $\mu = 0$ D) içerisinde ve sıvı amonyak (NH_3 , $\mu = 1.46$ D) içerisinde KCl. (c) karbon disülfür (CS_2 , $\mu = 0$ D) içerisinde ve su içerisinde formaldehit (CH_2O).

İzlenecek Yol Çözünürlüğü tahmin ederken, şunu hatırlayınız: Benzer benzeri çözer. Apolar bir çözünen apolar bir çözücünde çözünür: iyon-dipol etkileşimlerinden dolayı iyonik bileşikler genellikle polar çözücülerde çözünürler: çözücüyle hidrojen bağı oluşturan çözünen maddeler, daha yüksek çözünürlüğe sahiptirler.

(Devamı)

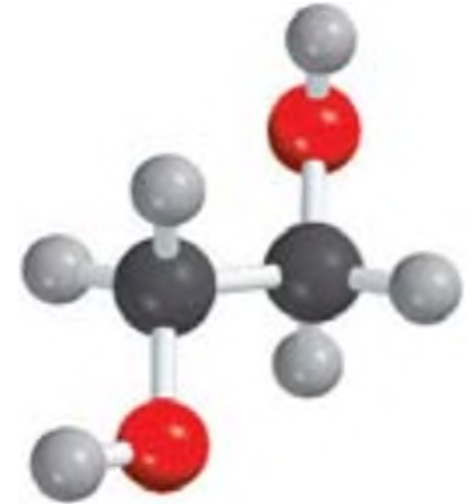
Animasyon
Bir iyonik ve bir kovalent bileşiğin çözünmesi



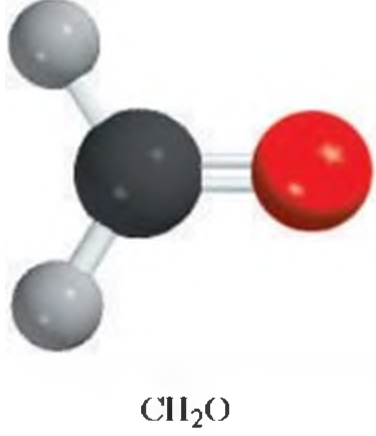
CH_3OH



$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$



$\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$

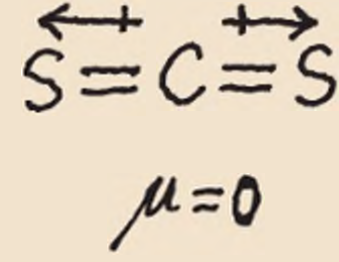
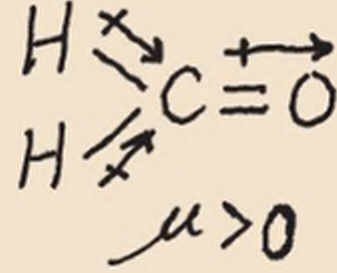


Benzer problem: 12.11.

Çözüm (a) Br₂ apolar bir moleküldür, dolayısıyla suya göre apolar olan C₆H₆'da daha iyi çözünür. Br₂ ve C₆H₆ arasındaki tek moleküller arası etkileşim dağılma kuvvetidir.

(b) KCl iyonik bir bileşiktir. Çözünmesi için K⁺ ve Cl⁻ iyonları ion-dipol etkileşimleriyle karalı hale getirilmelidir. CCl₄'ün dipol moment olmadığından KCl sıvı amonyakta daha fazla çözülebilir. Sıvı amonyak büyük bir dipol momente sahip olan polar bir moleküldür.

(c) CH₂O polar bir molekül iken, CS₂ (çizgisel bir molekül) apolar bir moleküldür.



CH₂O ve CS₂ molekülleri arasındaki kuvvetler, dipol-indüklenmiş dipol ve dağılma kuvvetleridir. Halbuki, CH₂O su ile hidrojen bağları oluşturabilir ve böylece CH₂O suda daha fazla çözünebilir.

Alıştırma İyot(I₂) suda mı yoksa karbon disülfürde mi(CS₂) daha fazla çözünür?

Kavramların Değerlendirilmesi

C₄H₁₀, HBr, KNO₃, P₄'den hangisinin benzendeki çözünürlüğünün sudaki çözünürlüğünden daha çok olması beklenir?

12.3 Derişim Birimleri

Bir çözeltiyi nicel olarak incelemek istediğimizde o çözeltinin derişimini bilmemiz gerekir. *Derişim* belirli bir miktardaki çözeltide çözülmüş madde miktarıdır. Kimyacılar, üstünlükleri kadar sınırlamaları da olan birkaç farklı derişim birimi kullanırlar. En yaygın olarak kullanılan şu üç derişim birimini inceleyelim: kütlece yüzde, molarite ve molalite.

Derişim Birimlerinin Türleri

Kütlece Yüzde

Kütlece yüzde (ağırlıkça yüzde ya da ağırlık yüzdesi olarak da adlandırılır), *çözünen madde kütlelerinin çözelti kütlelerine oranının 100 ile çarpımı olarak tanımlanır*.

$$\text{kütlece yüzde} = \frac{\text{çözünenin kütlesi}}{\text{çözünenin kütlesi} + \text{çözücünün kütlesi}} \times \%100$$

$$\text{veya} \quad \text{kütlece yüzde} = \frac{\text{çözünenin kütlesi}}{\text{çözeltinin kütlesi}} \times \%100 \quad (12.1)$$

Kütlece yüzdenin, iki benzer niceliğin oranı olması nedeniyle birimi yoktur.

Örnek 12.2

0.892 g potasyum klorür (KCl) numunesi 54.6 g suda çözölmektedir. Çözeltideki KCl'in kütlece yüzdesi nedir?

İzlenecek Yol Bize belirli bir miktar çözücüde çözünen maddenin kütlesi verilmektedir. Buna göre, Eşitlik 12.1'i kullanarak KCl'in kütlece yüzdesi hesaplanabilir.

Çözüm Şöyle yazarız:

$$\begin{aligned} \text{KCl'in kütlece yüzdesi} &= \frac{\text{çözünenin kütlesi}}{\text{çözeltinin kütlesi}} \times \%100 \\ &= \frac{0,892 \text{ g}}{0,892 \text{ g} + 54,6 \text{ g}} \times \%100 \\ &= \%1,61 \end{aligned}$$

Alıştırma 6.44 g naftalin (C_{10}H_8) 80.1 g benzende (C_6H_6) çözünmektedir. Bu çözeltideki naftalinin kütlece yüzdesini hesaplayınız.

Benzer problem: 12.15.

Mol Kesri (X)

Mol kesri, Kesim 5.6'da verilmişti. Bir çözeltide A bileşenin mol kesri X_A , şöyle tanımlanır;

$$\text{A bileşenin mol kesri} = X_A = \frac{\text{A'nın molü}}{\text{tüm bileşenlerin molleri toplamı}}$$

Mol kesri de kütlece yüzde gibi birimsizdir. Çünkü iki benzer niceliğin oranıdır.

Molarite (M)

Molarite, 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısı olarak daha önce Kesim 4.5'de tanımlanmıştı:

$$\text{molarite} = \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözeltinin litresi}}$$

Molarite ile ilgili hesaplamalar için s. 146'da Örnekler 4.7 ve 4.8'e bakınız.

Buna göre, molaritenin birimi litre başına mol'dür (mol/L).

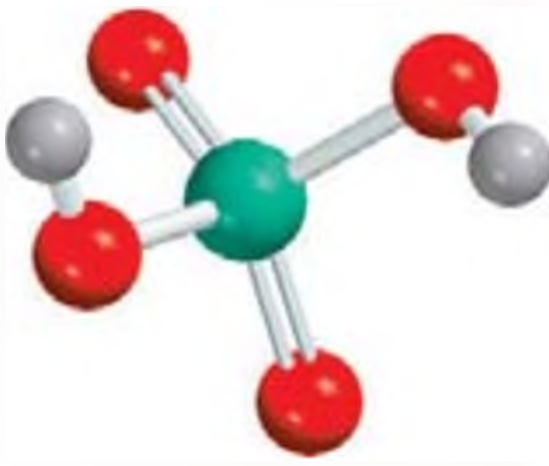
Molalite (m)

Molalite, 1 kg (1000 g) çözücüde çözülmüş olan çözünenin mol sayısıdır. Yani:

$$\text{molarite} = \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözücünün kütlesi (kg)}} \quad (12.2)$$

Örneğin, 1 *molal* yani 1 *m* sulu sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisi hazırlamak için, 1000 g (1 kg) su içerisinde 1 mol (142,0 g) madde çözmemiz gerekir. Böyle bir çözeltide, çözücü-çözünen etkileşiminin tabiatına bağlı olarak, çözeltinin son hacmi 1000 mL'den az ya da fazla olabilecektir. Çok sık olmamakla beraber son hacmin 1000 mL'ye eşit olması da mümkündür.

Bir çözeltinin molalitesinin nasıl hesaplanacağı. Örnek 12.3’de gösterilmektedir.



H₂SO₄

Örnek 12.3

198 g su içerisinde 24,4 g sülfürik asit içeren bir sülfürik asit çözeltisinin molalitesini hesaplayınız. Sülfürik asitin mol kütlesi 98,09’dır.

İzlenecek Yol Çözeltinin molalitesini hesaplamak için, çözünenin mol sayısını ve çözücünün kg cinsinden kütleini bilmemiz gerekir.

Çözüm Molalitenin (m) tanımı:

$$m = \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözücünün kütlesi(kg)}}$$

Önce, asitin mol kütlesini çevirme faktörü olarak alalım ve 24,4 g sülfürik asitin mol sayısını bulalım.

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4\text{'ün molü} &= 24,4 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{98,09 \text{ g H}_2\text{SO}_4} \\ &= 0,249 \text{ mol H}_2\text{SO}_4 \end{aligned}$$

Suyun kütlesi 198 g veya 0,198 kg’dır. Dolayısıyla çözeltinin molalitesi:

$$\begin{aligned} m &= \frac{0,249 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{0,198 \text{ kg H}_2\text{O}} \\ &= 1,26 \text{ m} \end{aligned}$$

Benzer problem: 12.17.

Alıştırma 203 g suda 7,78 g üre [(NH₂)₂CO] içeren bir çözeltinin molalitesi nedir?

Derişim Birimlerinin Karşılaştırılması

Hangi derişim birimini seçeceğimiz, çalışmamızın amacına bağlıdır. Örneğin, titrasyon ve gravimetrik analizlerde çözeltilerin derişimlerini ifade etmek için, mol kesri kullanılmamaktadır. Buna karşın, bu bölümde daha sonra ele alınacak olan, çözeltilerin buhar basınçlarını ve gazların kısmi basınçlarını (bak.Kesim 5.6) hesaplamak için mol kesri kullanmak faydalıdır.

Kesim 4.5’de bahsedildiği gibi, genellikle çözelti hacminin ölçülü balon kullanılarak ölçülmesi, çözücünün kütleinin tartılmasından daha kolaydır. Bu nedenle molarite, molaliteden daha sık kullanılır. Diğer yandan molalite derişimi; çözünenin mol sayısı ve çözücünün kütlesi cinsinden tanımlandığından, sıcaklıktan bağımsızdır. Halbuki, molarite (M) sıcaklığa bağlıdır. Çünkü, çözelti hacmi sıcaklık ile artar ve hacimdeki artıştan dolayı 25°C’da 1,0 M olan bir çözelti 45°C’da 0,97 M olabilir. Molar derişimin sıcaklığa bağıllığı deneylerin doğruluğunu önemli derecede etkileyebilir. Bu nedenle, bazen molaritenin yerine sıcaklıktan bağımsız olan molalite tercih edilir.

Kütlece yüzde, sıcaklıktan bağımsız olması yönünden molaliteye benzer. Ayrıca çözünenin kütleinin çözeltinin kütleine oranı olarak tanımlandığından, kütlece yüzdeyi hesaplamak için çözünenin mol kütlesini bilmemize gerek yoktur.

Bazen bir çözeltinin derişim biriminin diğerine çevrilmesi gerekebilir. Örneğin aynı çözelti, farklı derişim birimlerine gerek duyulan, değişik deneylerde kullanılabilir.

0,396 *m* glukoz (C₆H₁₂O₆) çözeltisinin derişimini molarite cinsinde ifade etmek istediğimizi düşünelim. Bu çözelti için, 1000 gram çözücüde 0,396 mol glukoz bulunduğu bilinmektedir. Molariteyi hesaplamak için çözeltinin hacmini belirlemeniz gerekir. Önce, glukozun mol külesinden çözeltinin külesini hesaplayalım:

$$\left(0,396 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \times \frac{180,2 \text{ g}}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \right) + 1000 \text{ g H}_2\text{O} = 1071 \text{ g}$$

Sonraki basamak çözelti yoğunluğunu deneysel olarak tayin etmektir. Yoğunluğu 1,16 g/mL olarak bulduğumuzu varsayalım. Şimdi çözeltinin hacmini litre cinsinden hesaplayabiliriz:

$$\begin{aligned} \text{hacım} &= \frac{\text{kütle}}{\text{yoğunluğu}} \\ &= \frac{1071 \text{ g}}{1,16 \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \\ &= 0,923 \text{ L} \end{aligned}$$

Son olarak, çözeltinin molaritesi,

$$\begin{aligned} \text{molarite} &= \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözeltinin litresi}} \\ &= \frac{0,396 \text{ mol}}{0,923 \text{ L}} \\ &= 0,429 \text{ mol/L} = 0,429 \text{ M} \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi, çözeltinin yoğunluğu molalite ve molarite arasında bir çevirme faktörü olarak kullanılmıştır.

Derişim birimlerinin dönüşümleri Örnek 12.4 ve 12.5'de gösterilmektedir.

Örnek 12.4

Metanolün (CH₃OH) 2.45 *M* sulu çözeltisinin yoğunluğu 0.976 g/mL'dir. Çözeltinin molalitesi nedir? Metanolün mol külesi 32,04 g'dır.

İzlenecek Yol Molaliteyi hesaplamak için, metanolün mol sayısını ve çözücünün kilogram cinsinden külesini bilmemiz gerekir. Eğer çözeltiyi 1 L alırsak, bu hacimdeki metanolün mol sayısı 2.45 mol olur.

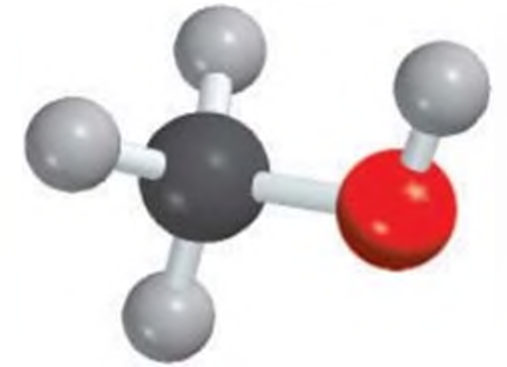
$$\text{molalite} = \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözücünün külesi(kg)}}$$

↑ ↑ ↑
 hesaplanması istenen verilen bulunması gereken

Çözüm İlk basamağımız yoğunluğu bir çevirme faktörü olarak kullanarak, çözeltinin bir litresindeki suyun külesini hesaplamaktır. 1L'lik 2.45 *M* metanol çözeltisinin toplam külesi;

$$1 \text{ L-çözl.} \times \frac{1000 \text{ mL-çözl.}}{1 \text{ L-çözl.}} \times \frac{0,976 \text{ g}}{1 \text{ mL-çözl.}} = 976 \text{ g}$$

(Devamı)



CH₃OH

Burada çözelti 2.45 mol metanol içermektedir, çözeltideki suyun miktarı (çözücü) ;

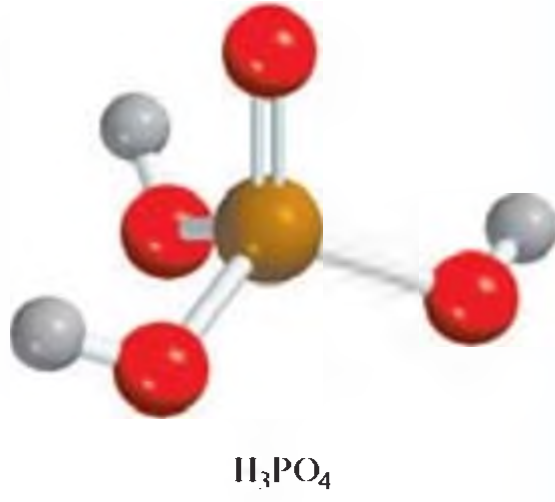
$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O kütlesi} &= \text{çözelti kütlesi} - \text{çözünen kütlesi} \\ &= 976 \text{ g} - \left(2,45 \text{ mol CH}_3\text{OH} \times \frac{32,04 \text{ g CH}_3\text{OH}}{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}} \right) \\ &= 898 \text{ g} \end{aligned}$$

898 g değerini 0,898 kg'a çevirerek çözeltinin molalitesi şöyle hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \text{molalite} &= \frac{2,45 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{0,898 \text{ kg H}_2\text{O}} \\ &= 2,73 \text{ m} \end{aligned}$$

Berzer problemler: 12.18(a), 12.19.

Alıştırma Yoğunluğu 0,927 g/mL olan 5,86 M etanol (C₂H₅OH) çözeltisinin molalitesini hesaplayınız.



Örnek 12.5

Kütlece % 35,4 olan sulu fosforik asit (H₃PO₄) çözeltisinin molalitesini hesaplayınız. Fosforik asidin mol kütlesi 97,99 g/mol'dür.

İzlenecek Yol Bu tür problemlerin çözümünde, 100,0 g çözelti ile başladığımızı kabul etmek daha uygundur. Eğer fosforik asidin kütlece yüzdesi %35,4 yani çözeltideki asit 35,4 g ise suyun kütlece yüzdesi ve kütlesi, sırasıyla %100 – %35,4 = %64,6 ve 64,6 g olmalıdır.

Çözüm Fosforik asidin bilinen mol kütlesinden, molaliteyi Örnek 12.3'de gösterildiği gibi, iki basamakta hesaplayabiliriz. Önce 35,4 g fosforik asidin mol sayısını hesaplarız.

$$\begin{aligned} \text{mol H}_3\text{PO}_4 &= 35,4 \text{ g H}_3\text{PO}_4 \times \frac{1 \text{ mol H}_3\text{PO}_4}{97,99 \text{ g H}_3\text{PO}_4} \\ &= 0,361 \text{ mol H}_3\text{PO}_4 \end{aligned}$$

Suyun kütlesi 64,6 g ya da 0,0646 kg'dır. Dolayısıyla, molalite şöyle verilir:

$$\begin{aligned} \text{molalite} &= \frac{0,361 \text{ mol H}_3\text{PO}_4}{0,0646 \text{ kg H}_2\text{O}} \\ &= 5,59 \text{ m} \end{aligned}$$

Berzer problem: 12.18(b).

Alıştırma Kütlece %44,6'lık sulu sodyum klorür çözeltisinin molalitesini hesaplayınız.

Kavramların Değerlendirilmesi

20 °C'de bir çözelti hazırlanmakta ve derişimi kütlece yüzde, molalite ve molarite olmak üzere üç farklı birimde ifade edilmektedir. Daha sonra çözelti 88 °C'ye ısıtılmaktadır. Hangi derişim birimleri değişecektir? artacak ya da azalacaktır?

12.4 Çözünürlüğe Sıcaklığın Etkisi

Çözünürlüğün *belirli bir sıcaklıkta*, belirli bir miktar çözücüde, çözünebilen en fazla madde miktarı olarak tanımlandığını hatırlayınız. Sıcaklık bir çok maddenin çözünürlüğünü etkiler. Bu kesimde gazların ve katıların çözünürlüğüne sıcaklığın etkisini inceleyeceğiz.

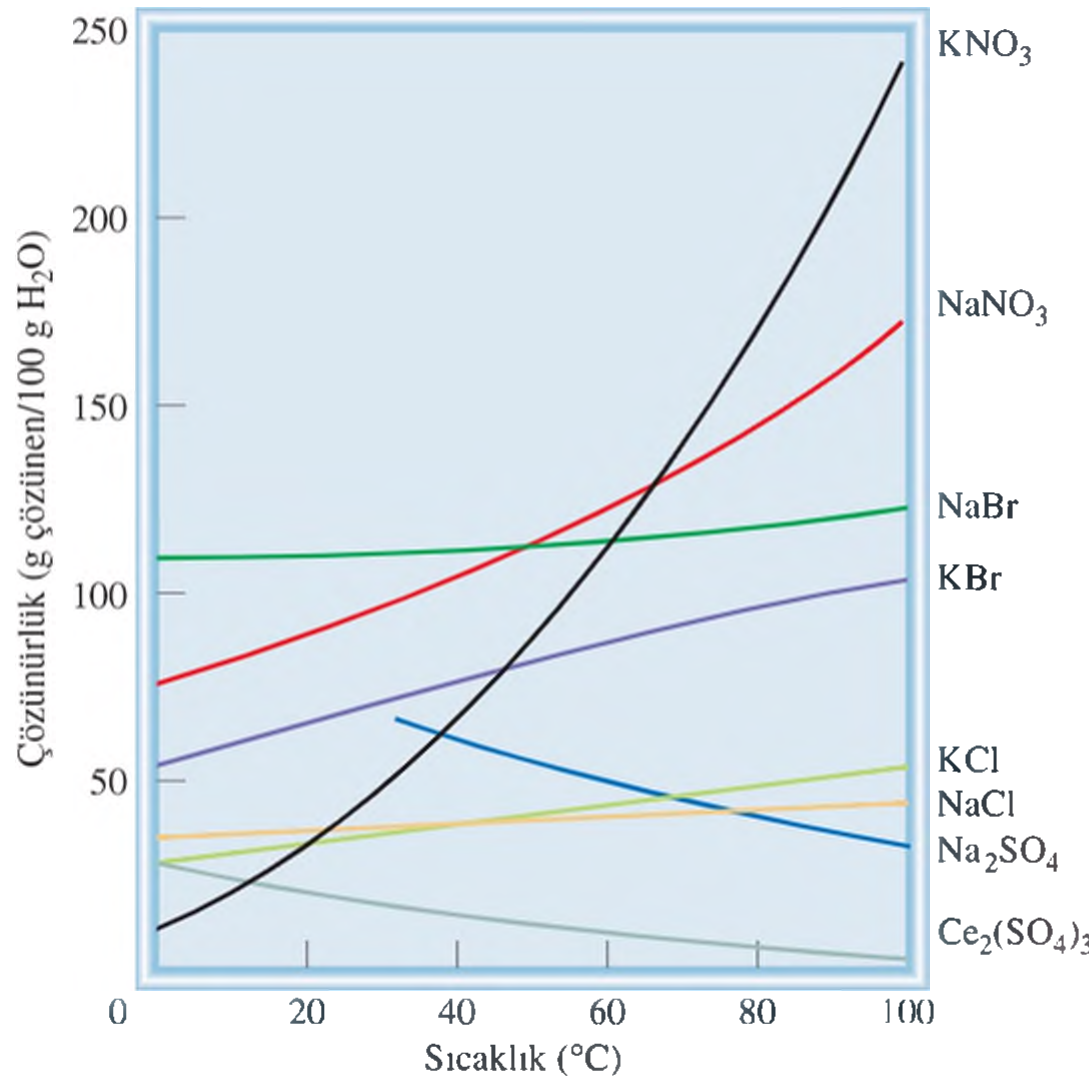
Katı Çözünürlüğü ve Sıcaklık

Şekil 12.3, bazı iyonik bileşiklerin sudaki çözünürlüğüne sıcaklığın etkisini göstermektedir. Çoğunlukla bir katı maddenin çözünürlüğü sıcaklık ile artar. Bununla birlikte, çözünürlüğün sıcaklıkla değişimi ile $\Delta H_{\text{çözelti}}$ işareti arasındaki ilişki açık değildir. Örneğin, CaCl_2 'ün çözünme işlemi ekzotermik iken NH_4NO_3 'ün endotermiktir. Fakat her iki bileşiğin çözünürlüğü de sıcaklık artışı ile artar. Genellikle sıcaklığın çözünürlüğe etkisi en iyi deneysel yöntemle belirlenir.

Ayrımsal Kristallenme

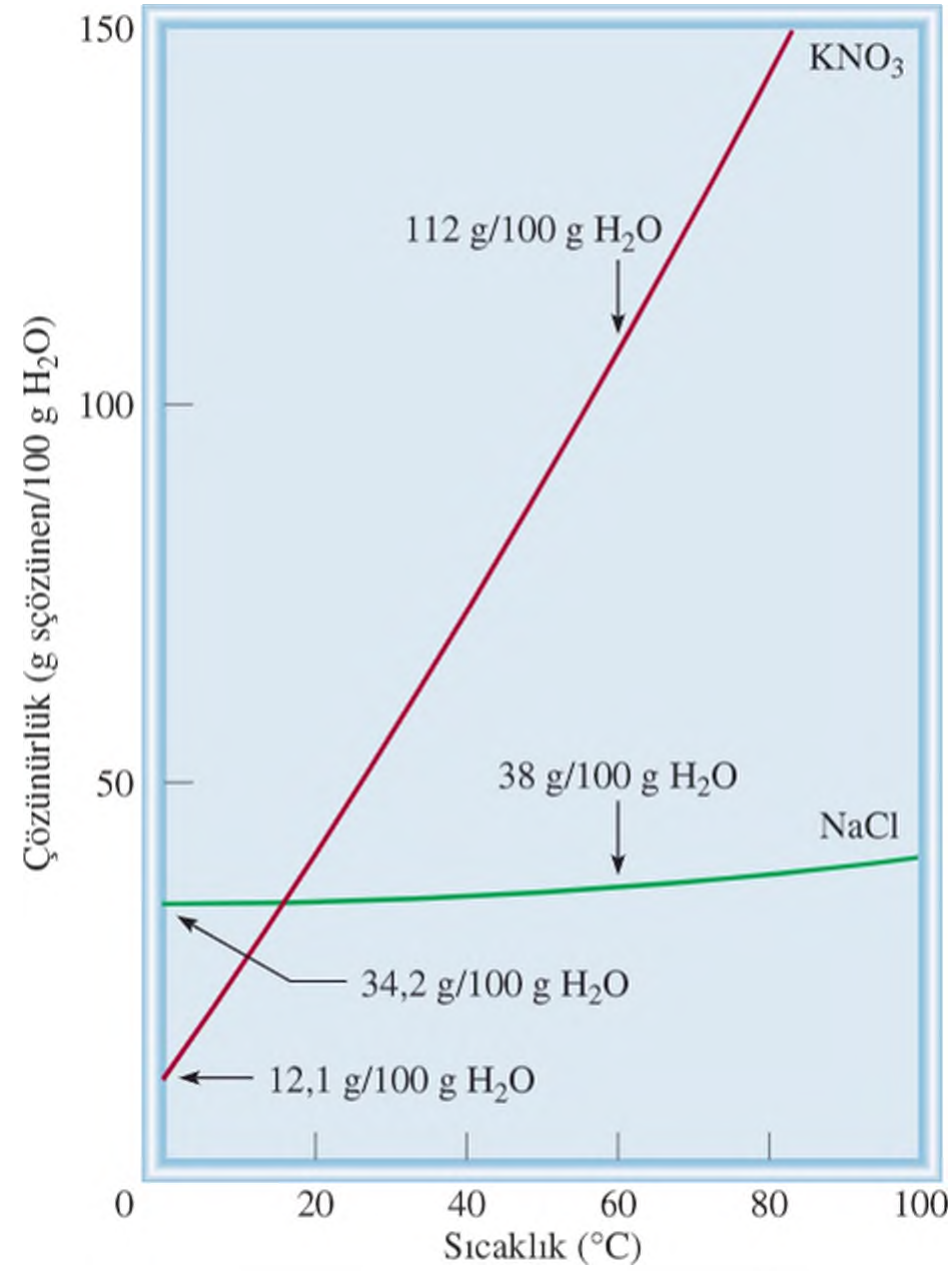
Bir katının çözünürlüğünün sıcaklığa bağlılığı Şekil 12.3'de gösterildiği gibi belirgin bir şekilde değişmektedir. Örneğin, NaNO_3 'ün çözünürlüğü sıcaklık ile hızlı bir şekilde artarken, NaCl 'ün çözünürlüğü ise çok az değişmektedir. İki madde arasındaki bu büyük fark, karışımlardan saf maddeyi elde etmek için kullanılmaktadır. **Ayrımsal kristallendirme**, maddelerin farklı çözünürlüklerine dayanarak, karışımdan saf bileşenlerine ayrılması işlemidir.

10 g NaCl ile kirlenmiş 90 g KNO_3 numunemiz olduğunu varsayalım. KNO_3 'ü saflaştırmak için bu numune 60°C 'de 100 mL suda çözülür ve sonra çözelti kademeli olarak 0°C 'ye soğutulur. Bu sıcaklıkta, KNO_3 ve NaCl 'ün çözünürlükleri sırasıyla 12,1 g/100 g H_2O ve 34,2 g/100 g H_2O 'dur. Böylece, $(90 - 12)$ g yani 78 g KNO_3 çözeltiden kristallenirken, NaCl çözeltide çözülmüş olarak kalacaktır (Şekil 12.4). Böylelikle, KNO_3 'ün başlangıçtaki miktarının % 90'ını saf halde elde etmiş oluruz. KNO_3 kristalleri süzme ile çözeltiden ayrılabilir.



Şekil 12.3 Bazı iyonik bileşiklerin sudaki çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi.

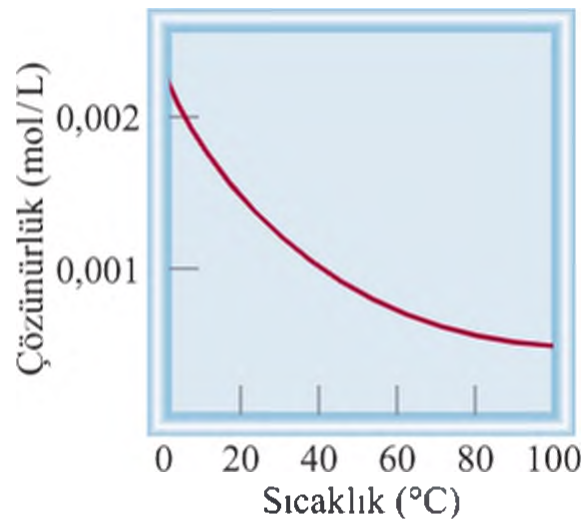
Şekil 12.4 0°C ve 60°C'de KNO_3 ve NaCl 'ün çözünürlükleri. Çözünürlüklerin sıcaklığa bağlılığındaki bu fark, her iki bileşiği içeren bir çözeltiden ayrımsal kristallenme ile birinin ayrılabilmesini sağlar.



Laboratuvar ortamında kullanılan katı organik ve inorganik bileşiklerin çoğu, ayrımsal kristallenme ile saflaştırılmaktadır. Saflaştırılması istenen bileşikler dik bir çözünürlük eğrisine sahipse, yani düşük sıcaklıklara göre yüksek sıcaklıklarda daha çok çözünürse, bu yöntem en iyi saflaştırma için daha verimli çalışır. Aksi halde, çözelti soğutulduğunda, kristallendirilerek ayrılması istenen çözünmüş türün çoğu yine çökmeyecek ve çözünmüş olarak kalacaktır. Eğer çözeltideki safsızlık oldukça az miktarda ise, ayrımsal kristallendirme, az önce bahsedilen koşul sağlanmasada, yine de iyi bir yöntemdir.

Kavramların Değerlendirilmesi

Şekil 12.3'tü kullanarak 40 °C'de potasyum tuzlarını çözünürlüğün artmasına göre sıralayınız.



Şekil 12.5 O_2 gazının sudaki çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi. Sıcaklık artarken çözünürlüğün azaldığına dikkat ediniz. Çözelti üzerindeki gazın basıncı 1 atm'dir.

Gaz Çözünürlüğü ve Sıcaklık

Gazların sudaki çözünürlüğü genellikle sıcaklık artışı ile azalır (Şekil 12.5). Bir beher içerisindeki su ısıtıldığında kaynamadan önce camın kenarında hava kabarcıkları oluştuğunu görebilirsiniz. Çözünmüş hava molekülleri su kaynamadan çok önce çözeltiden uzaklaşır.

Moleküller oksijenin sıcak sudaki azalan çözünürlüğü ısı kirlenmeye neden olur. Isıl kirlenme—canlılara zarar verecek derecede çevrenin (genellikle su yolları) ısınmasıdır. Birleşik Devletle'de her yıl 100000 milyar galon suyun, endüstriyel soğutmada, çoğunlukla elektrik ve nükleer güç üretiminde kullanıldığı tahmin edilmektedir. Bu işlem, daha sonra tekrar göllere ve nehirlerle geri gönderilen suyu ısıtır. Çevre bilimcileri ısı kirlenmenin sudaki yaşam üzerine etkileriyle ilgili yoğun çalışmalar yapmaktadır. Balıklar, diğer bütün soğukkanlı hayvanlar gibi, ani sıcaklık değişimlerinden insanlardan daha fazla etkilenirler. Su sıcaklığındaki her 10°C'lik yükselme bu canlıların metabolizma hızını genellikle 2 kat artırır. Metabolizma hızının artması, balıkların oksijen

ihtiyacını da artırır. Ancak, oksijenin ısınmış sudaki düşük çözünürlüğünden dolayı oksijen miktarı azalmıştır. Bu nedenle elektrik santrallerini soğutmak için, biyolojik çevreye en az zarar veren etkili yollar araştırılmalıdır.

Gaz çözünürlüğünün sıcaklıkla azaldığını öğrenen zeki bir balıkçı, bu bilgisini daha çok balık tutmak yönünde kullanabilir. Örneğin, sıcak bir yaz gününde tecrübeli bir balıkçı oltadaki yemi atmak için nehirde veya gölde genellikle derin yeri seçer. Çünkü en derin ve en soğuk kısımlardaki oksijen içeriği daha fazla olduğundan balıkların çoğu orada bulunacaktır.

12.5 Gazların Çözünürlüğüne Basıncın Etkisi

Pratikte, dış basınç katıların ve sıvıların çözünürlüğüne etki etmez, ancak gazların çözünürlüğünü oldukça etkiler. Gazların çözünürlüğü ile basınç arasındaki nicel ilişki **Henry¹ yasası** ile verilir; bu yasaya göre, *bir gazın sıvıdaki çözünürlüğü, çözelti üzerindeki gaz basıncıyla orantılıdır*:

$$c \propto P$$

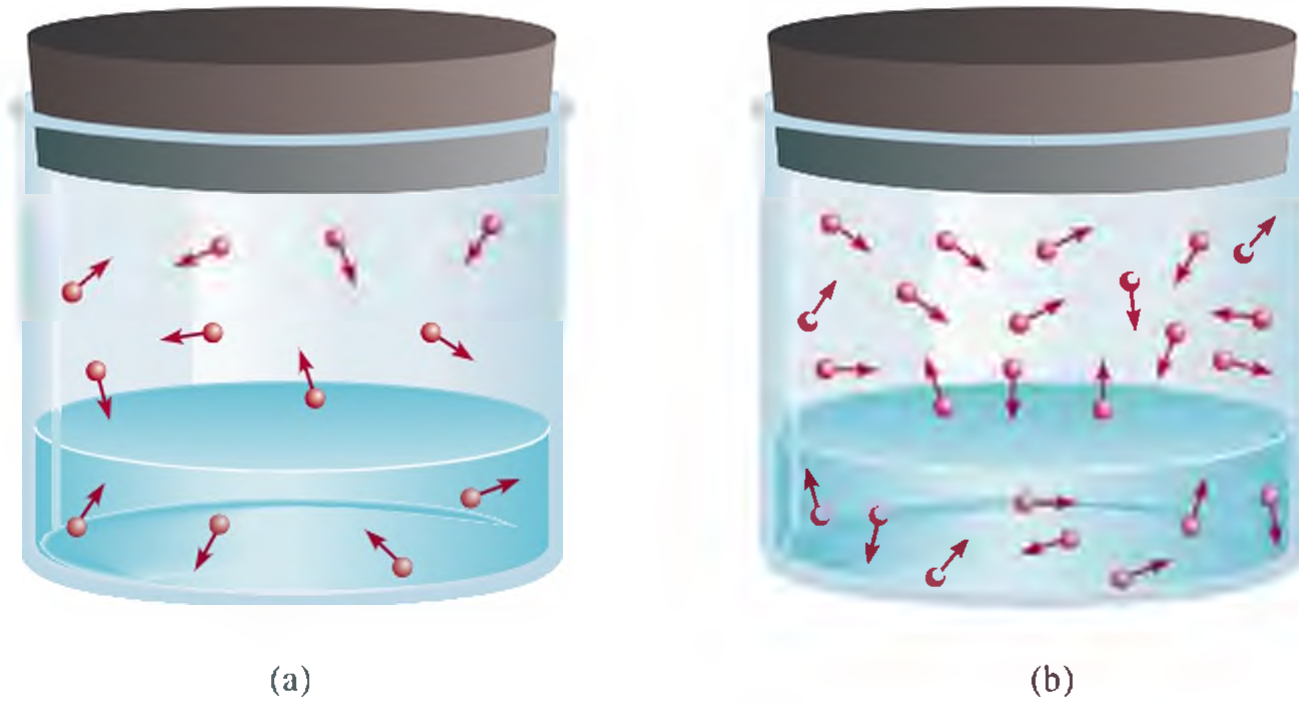
$$c = kP \quad (12.3)$$

Burada c çözünen gazın molar derişimi (mol/ litre), P çözelti üzerindeki gaz basıncı (atm cinsinden) ve k belirli bir gaz için sadece sıcaklığa bağlı bir sabittir. k sabitinin birimi mol/ L·atm'dir. Eğer gaz basıncı 1 atm ise, verilen eşitlikten c 'nin *sayısal olarak* k 'ya eşit olduğunu görebilirsiniz. Ortamda birden fazla gaz olduğunda, eşitlikteki, P kısmi basınçtır.

Verilen sıcaklıkta her bir gaz farklı k değerine sahiptir.

Henry yasası nitel olarak kinetik molekül kuramı ile anlaşılabilir. Bir çözücü içerisinde çözünebilecek gaz miktarı, gaz fazındaki moleküllerin sıvı yüzeyi ile hangi sıklıkla çarpıştığına ve tutulduğuna bağlıdır. Çözelti ile dinamik dengede bulunan gazı düşünelim [Şekil 12.6 (a)]. Bu durumda, çözeltiye giren gaz moleküllerinin sayısı, çözeltiden gaz fazına geçen moleküllerin sayısına eşit olacaktır. Gazın kısmi basıncı artırıldığında, sıvı yüzeyine daha fazla molekül çarpacağından, sıvı içinde daha fazla

¹William Henry (1775–1836). İngiliz kimyager. Henry'nin bilime en büyük katkısı, gazların çözünürlüğünü açıklayan ve kendi adını taşıyan yasayı keşfetmesidir.



Şekil 12.6 Henry yasası'nın moleküler gösterimi. Gazın çözelti üzerindeki kısmi basıncı (a)'dan (b)'ye arttığında, Eşitlik (12.3)'e göre çözülmüş gazın derişimi de artar.



Meşrubatın köpürmesi. Şişe açılmadan önce çalkalanırsa CO₂ çıkışı daha da şiddetli olur.

gaz moleküllü çözünecektir. Bu olay sistem dengeye gelinceye, yani birim zamanda çözeltiyi terk eden moleküllerin sayısı, çözünen moleküllerin sayısına eşit oluncaya kadar devam eder [Şekil 12.6 (b)]. Çözelti ve gaz fazının her ikisinde de moleküllerin derişimini arttığından, birim zamanda çözeltiye giren ve terk eden moleküllerin sayısı (b)'de kısmi basıncın düşük olduğu (a)'dan büyüktür.

Bir şişesinin kapağını açtığımızda gazozun köpürmesi Henry yasası'na bir kanıttır. Şişenin kapağı kapatılmadan önce, gazoz içine basınçla CO₂ gönderilir. Bu durumda, çözünen CO₂ miktarı, normal basınçta çözünenenden çok fazladır. Gazozun kapağı açıldığında, yüksek basınç altında çözünmüş olan CO₂ çözeltiden uzaklaşır ve geriye kalan miktarı CO₂'nin atmosferdeki kısmi basıncından (0,0003 atm) bulunabilir. Çözünmüş fazla CO₂ çıkarken köpük oluşturur.

Örnek 12.6 Henry yasası'nın azot gazına uygulanmasını içermektedir.

Örnek 12.6

25 °C ve 1 atm basınçtaki azot gazının sudaki çözünürlüğü $6,8 \times 10^{-4}$ mol/L'dir. Normal atmosfer koşullarında suda çözülmüş azotun derişimi (molarite) nedir? Atmosferde azot gazının kısmi basıncı 0,78 atm'dir.

İzlenecek Yol Verilen çözünürlük, çözeltinin derişimini belirlemede kullanılacak olan Henry yasası sabitini (k) hesaplamamıza olanak sağlar.

Çözüm Önce, Eşitlik (12.3)'teki k değerini hesaplayalım:

$$\begin{aligned} c &= kP \\ 6,8 \times 10^{-4} \text{ mol/L} &= k (1 \text{ atm}) \\ k &= 6,8 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \cdot \text{atm} \end{aligned}$$

Buna göre, azot gazının sudaki çözünürlüğü:

$$\begin{aligned} c &= (6,8 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \cdot \text{atm})(0,78 \text{ atm}) \\ &= 5,3 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \\ &= 5,3 \times 10^{-4} M \end{aligned}$$

Çözünürlükteki azalma basıncın 1 atm'den 0,78 atm'e düşmesinin sonucudur.

Kontrol Basınçların oranı (0,78 atm/1 atm = 0,78), derişimlerin oranına $[(5,3 \times 10^{-4} M) / (6,8 \times 10^{-4} M) = 0,78]$ eşit olmalıdır.

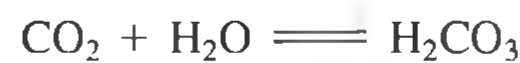
Alıştırma 0,22 atm kısmi basınca sahip oksijenin, 25°C'de sudaki molar derişimini hesaplayınız. Oksijenin Henry yasası sabiti $1,3 \times 10^{-3}$ mol/L · atm'dir.

Berzer problem: 12.37.

Gazların çoğu Henry yasasına uyar, ancak bazı önemli istisnalar vardır. Örneğin, çözülmüş gaz su ile tepkimeye giriyorsa, yüksek çözünürlükler ortaya çıkabilir. Amonyakın çözünürlüğü aşağıdaki tepkimeden dolayı beklenenden daha yüksektir:



Karbon dioksit de su ile tepkimeye girer:

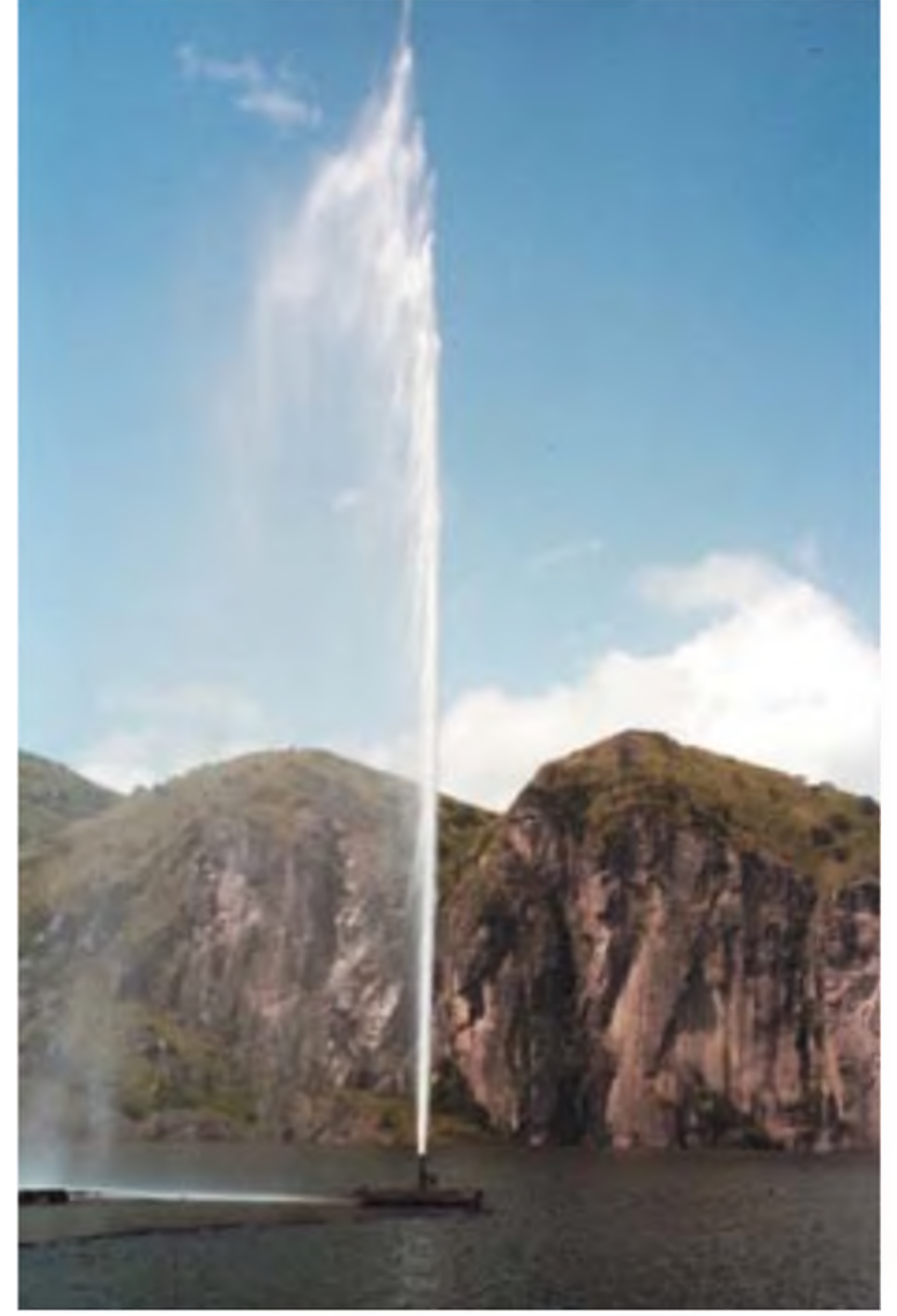


Katil Göl

Felaket çok hızlı ve uyarmadan vurmuştu. 21 Ağustos 1986'da, Afrika'nın batı kıyısında küçük bir ülke olan Kamerun'daki Nyos Gölü, aniden yoğun bir karbon dioksit bulutu püskürtmüştü. Nehir vadisinden aşağıya doğru, karbon dioksit bulutu hızlanarak 1700'den fazla insanı ve çok sayıda çiftlik hayvanını boğmuştu.

Peki, bu facia nasıl olmuştur? Nyos Gölü birbirine karışmayan katmanlardan oluşmaktadır. Çözülmüş mineralleri ve CO₂ gibi gazları içeren daha derindeki yoğun çözelti, bir sınır oluşturarak yüzeydeki tatlı sudan ayrılmaktadır. CO₂ gazı, volkanik gölün tabanından yukarıya doğru sızan karbonatlı yeraltı kaynak sularından gelir. Gölün tabanındaki yüksek su basıncından dolayı, CO₂ derişimi Henry yasası'na uygun olarak tehlikeli derecede yüksek bir seviyeye çıkar. CO₂ salınımını neyin tetiklediği kesin olarak bilinmemektedir. Bir deprem, toprak kayması veya kuvvetli rüzgârların bile su katmanlarını alt üst eden dalgalar oluşturarak gölün içindeki hassas dengeyi bozmuş olabileceğine inanılmaktadır. Derin sulardan, tıpkı şişesi açıldığında meşrubatın köpürmesi gibi, çözülmüş CO₂ dışarıya fışkırmıştır. CO₂ havadan daha ağır olduğundan, yere yakın hareket etmiş ve kelimenin tam anlamıyla 15 mil uzaktaki tüm köyleri boğmuştur.

Bugün, olayın üzerinden geçen 25 yıldan sonra, bilim insanları Nyos Gölü'nün tabanındaki CO₂ derişiminin tekrar doygunluk seviyesine ulaşmasından endişelenmektedirler. Eski facianın tekrarlanmasını engellemek için, derinlerde çözülmüş CO₂'i tehlikesiz ortaya çıkarmak amacıyla, derin suyun pompalanması girişiminde bulunuldu. Bu yaklaşım, maliyetinin yüksek olmasının yanında, gölün tabanına yakın suların hareketlendirilmesiyle yüzeye doğru kontrol edilemez bir CO₂ salınımı olabileceği endişesiyle tartışılmaktadır. Ancak bu arada, doğal bir saatli bomba ilerlemektedir.



Nyos Gölü'nde çözülmüş CO₂ gazını uzaklaştırmak için dipten yüzeye doğru pompalanan derin su.

Diğer bir ilginç örnek, moleküler oksijenin kandaki çözünürlüğüdür. Normalde, oksijen gazı suda az çözünür (bak. Örnek 12.6'daki Alıştırma). Oysa hemoglobın (Hb) moleküllerinden dolayı oksijenin kandaki çözünürlüğü şaşılabacak kadar yüksektir. Her hemoglobın molekülü dört oksijen molekülü bağlayabilir. Bu oksijen molekülleri metabolizmada kullanılmak üzere dokulara taşınır:



Bu olay, oksijen molekülünün kandaki yüksek çözünürlüğünü açıklar.

Yukarıdaki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçası, Henry yasası ile doğal bir afeti açıklamaktadır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Suda 25 °C'de CH₄, Ne, HCl, H₂ gazlarından hangisi en yüksek Henry yasası sabitine sahiptir?

12.6 Elektrolit Olmayan Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri

Kolligatif özellikler, çözeltideki çözünen taneciklerin doğasına değil, sadece sayısına bağlı özelliklerdir. Bu özelliklerin hepsi ortak bir kökene yani, ortamdaki çözünen taneciklerinin atom, iyon ya da molekül sayısına bağlıdır. Kolligatif özellikler; buhar basıncı düşmesi, kaynama noktası yükselmesi, donma noktası alçalması ve ozmotik basınçtır. Burada, elektrolitik olmayan çözeltilerin kolligatif özellikleri incelenirken, seyreltik çözeltilerinin yani derişimi $\leq 0,2 M$ olan çözeltilerinin üzerinde durulacağına hatırlatılmalıdır.

Buhar Basıncı Düşmesi

Eğer çözünen madde *uçucu değilse* yani ölçülebilen bir buhar basıncı yoksa, çözünenin buhar basıncı daima saf çözücüsünden daha düşüktür. Bu nedenle, çözücünün buhar basıncı ile çözeltinin buhar basıncı arasındaki ilişki, çözelti içerisindeki çözünenin derişimine bağlıdır. **Raoult¹ yasası** şöyle tanımlanabilir: *Bir çözeltideki çözücünün kısmi buhar basıncı (P_1), saf çözücünün buhar basıncı (P_1°) ile onun çözeltideki mol kesrinin (X_1) çarpımına eşittir:*

$$P_1 = X_1 P_1^\circ \quad (12.4)$$

Yalnızca tek bir çözünen içeren bir çözeltide, $X_1 = 1 - X_2$ 'dir. Burada X_2 çözünenin mol kesridir. Buna göre Eşitlik (12.4), X_2 'ye bağlı olarak yeniden düzenlenebilir:

$$P_1 = (1 - X_2) P_1^\circ$$

veya

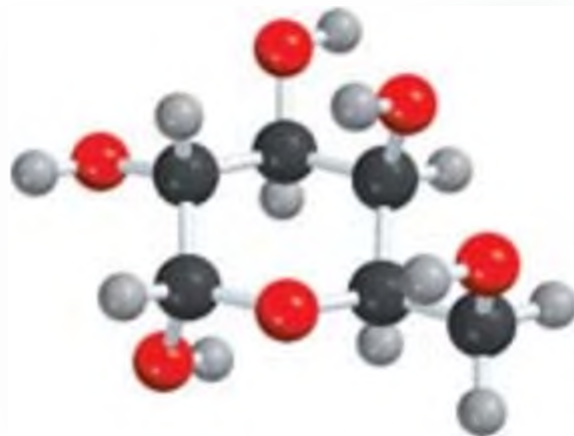
$$P_1 = P_1^\circ - X_2 P_1^\circ$$

böylece

$$P_1^\circ - P_1 = \Delta P = X_2 P_1^\circ \quad (12.5)$$

Çözeltideki buhar basıncı düşmesinin (ΔP), çözünenin türün derişimi ile (mol kesri) doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Örnek 12.7'de Raoult yasası'nın [Eşitlik (12.5)] kullanımı verilmiştir.



C₆H₁₂O₆

Örnek 12.7

218 g glukozun (mol kütlesi = 180.2 g/mol) 30°C'deki 460 mL suda çözünmesiyle hazırlanan bir çözeltinin buhar basıncını hesaplayınız. Buhar basıncı düşmesi nedir? 30°C'de saf suyun buhar basıncı sayfa 199'da Çizelge 5.3'de verilmiştir. Çözeltinin yoğunluğunu 1.00 g/mL kabul ediniz.

(Devamı)

¹François Marie Raoult (1830–1901). Fransız kimyacı. Raoult'un çalışmaları ağırlıklı olarak çözelti özellikleri ve elektrokimya üzerinedir.

İzlenecek Yol Çözeltinin buhar basıncını belirlemek için Raoult yasası [Eşitlik (12.4)] kullanılmalıdır. Glukozun uçucu olmayan bir çözünen olduğuna dikkat ediniz.

Çözüm Çözeltinin buhar basıncı (P_1) şöyle ifade edilir:

$$P_1 = X_1 P_1^\circ$$

bulunması gereken
↓
 P_1
↑
hesaplanması istenen
↓
 $X_1 P_1^\circ$
↑
verilen

Önce çözeltideki suyun ve glukozun mol sayıları hesaplanır:

$$n_1(\text{su}) = 460 \text{ mL} \times \frac{1,00 \text{ g}}{1 \text{ mL}} \times \frac{1 \text{ mol}}{18,02 \text{ g}} = 25,5 \text{ mol}$$

$$n_2(\text{glukoz}) = 218 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{180,2 \text{ g}} = 1,21 \text{ mol}$$

Suyun mol kesri, X_1 şöyle bulunur:

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = \frac{25,5 \text{ mol}}{25,5 \text{ mol} + 1,21 \text{ mol}} = 0,955$$

Çizelge 5.3'den 30°C'deki suyun buhar basıncı 31,82 mmHg'dır. Buna göre, glukoz çözeltisinin buhar basıncı:

$$P_1 = 0,955 \times 31,82 \text{ mmHg} = 30,4 \text{ mmHg}$$

Sonuçta, buhar basıncı düşmesi (31,8 – 30,4) mmHg ya da 1,4 mmHg'dır.

Kontrol Buhar basıncı düşmesini Eşitlik (12.5)'i kullanarak da hesaplayabiliriz. Glukozun mol kesri (1 – 0,955) yani 0,045'dir. Buna göre, buhar basıncı düşmesi (0,045)(31,82 mmHg) yani 1,4 mmHg'dır.

Alıştırma 35°C'de 212 mL suda 82,4 g üre (mol kütlesi = 60,06 g/mol) çözümüyle hazırlanan çözeltinin buhar basıncını hesaplayınız. Buhar basıncı düşmesi nedir?

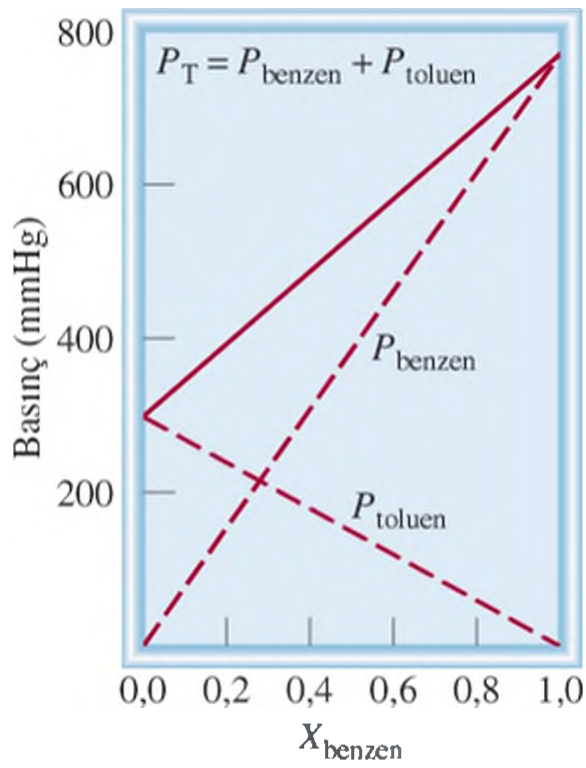
Benzersiz problemler: 12.49, 12.50.

Çözeltinin buhar basıncı neden saf çözücüsünden daha düşüktür? Kesim 12.2'de bahsedildiği gibi, fiziksel ve kimyasal olaylardaki itici güçlerden birisi düzensizlikteki artıştır. Yani, daha büyük düzensizliğe yol açan süreç daha çok olmaya yatkındır. Buharlaşma sisteminin düzensizliğini artırır. Çünkü buhar içindeki moleküller sıvı içindeki moleküllerden daha düzensizdir. Çözeltinin saf çözücünden daha düzensiz olması nedeniyle, buhar ve çözelti arasındaki düzensizlik farkı, buhar ve saf çözücü arasındakikinden daha azdır. Bu nedenle, çözücü moleküllerinin bu çözeltiyi terk etme eğilimleri, saf çözüciyi terk etme eğilimlerinden daha azdır. Sonuç olarak, çözeltinin buhar basıncı çözücüsünden daha düşüktür.

Eğer bir çözeltinin her iki bileşeni de *uçucu* yani *ölçülebilir bir buhar basıncına sahipse* çözeltinin toplam buhar basıncı her bir bileşenin kısmi basınçlarının toplamıdır. Bu durumda Raoult yasası'na göre aşağıdaki eşitlikler yazılır:

$$P_A = X_A P_A^\circ$$

$$P_B = X_B P_B^\circ$$



Şekil 12.7 80 °C'deki benzen-toluen çözeltisinde, benzen ve toluenin kısmi basınçlarının mol kesirlerine bağlılığı ($X_{\text{toluen}} = 1 - X_{\text{benzen}}$). Buhar basınçları Raoult yasası'na uyduğu için, bu çözelti ideal çözeltidir.

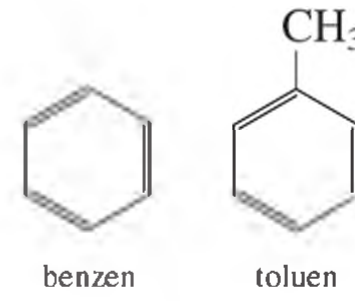
Burada P_A ve P_B , A ve B bileşenlerinin çözeltideki kısmi basınçlarını, P_A° ve P_B° saf haldeki buhar basınçlarını gösterir. X_A ve X_B ise her iki bileşenin mol kesirlerini gösterir. Toplam basınç Dalton kısmi basınçlar yasası ile verilir (bak. Kesim 5.6):

$$P_T = P_A + P_B$$

ya da

$$P_T = X_A P_A^\circ + X_B P_B^\circ$$

Örneğin, benzen ve toluen uçucu bileşikler olup benzer yapıdadır. Bu nedenle moleküller arası kuvvetleri benzerdir:

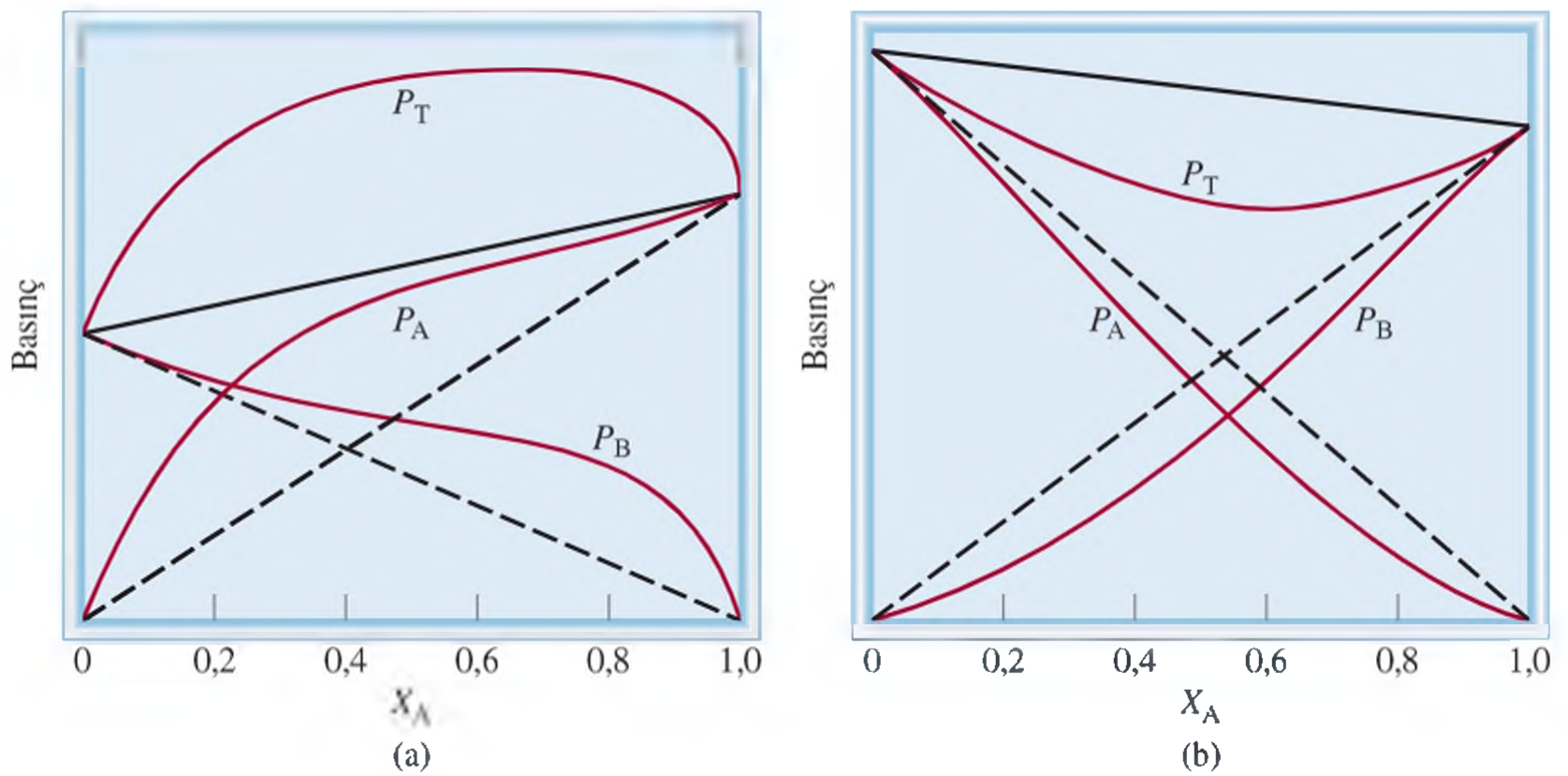


Benzen ve toluiden oluşan bir çözeltide, her bileşenin buhar basıncı Raoult yasası'na uyar. Şekil 12.7'de benzen-toluen çözeltisindeki toplam buhar basıncının çözelti bileşimine göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte çözelti bileşimi, bileşenlerden sadece birinin (benzen) mol kesri olarak gösterilmiştir. X_{benzen} cinsinden toluenin mol kesri, $(1 - X_{\text{benzen}})$ ile verilir. Raoult yasası'na tam olarak uyan çözeltilere **ideal çözeltiler** denir. İdeal çözeltilerin en önemli özelliği çözünme ısısının, $(\Delta H_{\text{çözelti}})$ her zaman sıfır olmasıdır.

Bu açıdan çoğu çözeltiler ideal olarak davranmazlar. A ve B gibi iki uçucu madde tanımlandığında aşağıdaki iki durumu düşünebiliriz:

Durum 1: Eğer A ve B molekülleri arasındaki moleküller arası kuvvetler, A moleküllerinin kendi aralarında ve B moleküllerinin kendi arasında olan kuvvetlerden daha zayıf ise, ideal çözelti durumuna göre bu moleküllerin çözeltiden ayrılma eğilimi vardır. Bu nedenle, çözeltinin buhar basıncı Raoult yasası ile tanımlanan buhar basınçlarının toplamından daha büyüktür. Bu davranış *pozitif bir sapma* meydana getirir [Şekil 12.8(a)]. Bu durumda, çözeltinin ısısı pozitifdir (karışma, endotermik bir süreçtir).

Şekil 12.8 İdeal olmayan çözeltiler. (a) P_T , Raoult yasası'ndan (koyu siyah çizgi) beklenenden daha büyük olduğunda pozitif sapma gözlenir (koyu kırmızı çizgi). (b) Negatif sapma. Burada P_T , Raoult yasası'ndan (koyu siyah çizgi) beklenenden daha küçüktür.



Durum 2: Eğer A molekülleri B moleküllerini A moleküllerinin kendi aralarındaki ve B moleküllerinin kendi aralarındakinden daha çok çekerse, çözeltinin buhar basıncı Rault yasası ile tanımlanan buhar basınçlarının toplamından daha düşük olur. Bu durumda *negatif bir sapma* söz konusudur [Şekil 12.8(b)] ve çözeltinin ısısı negatiftir (karışma, ekzotermik bir süreçtir).

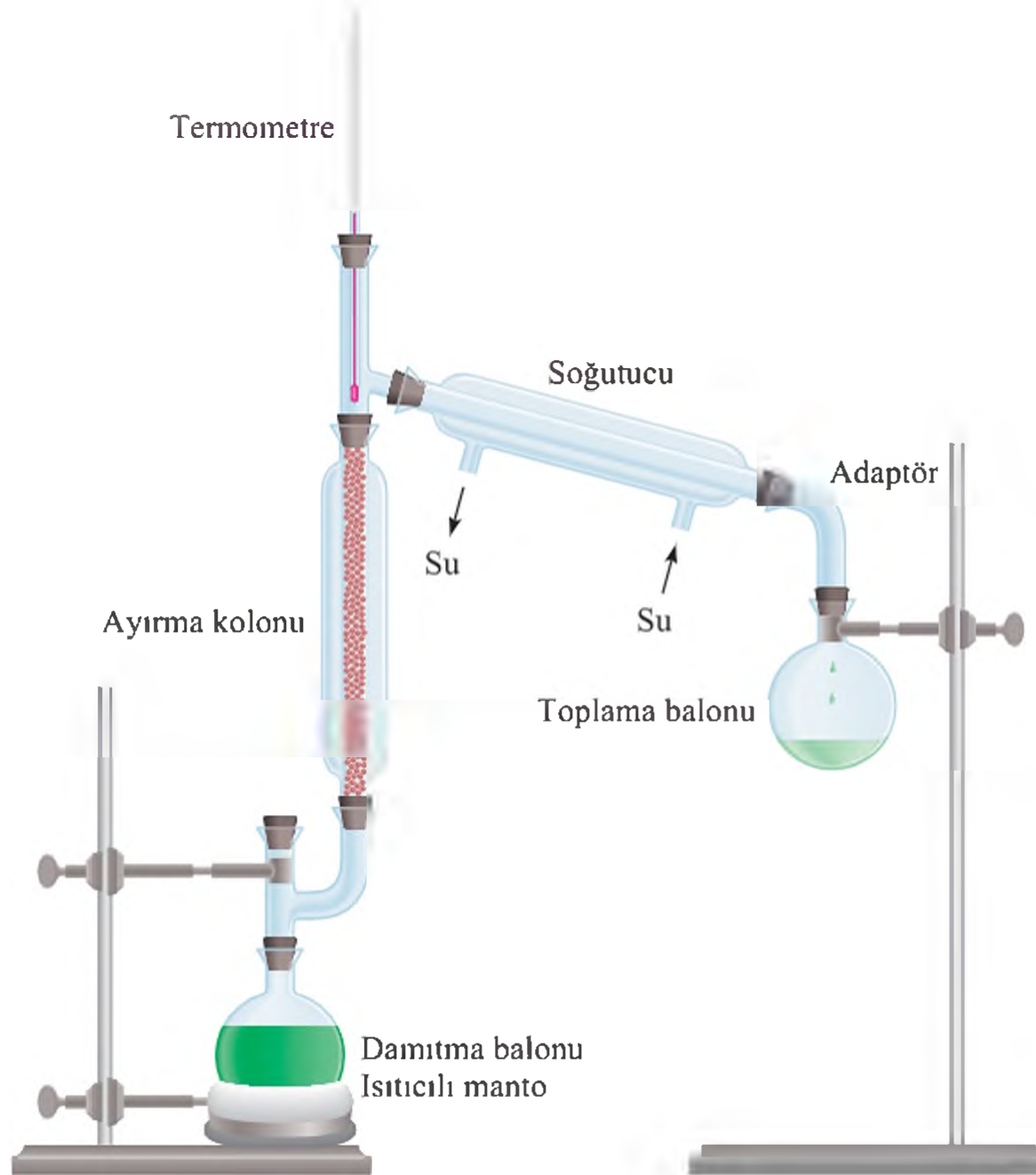
Kavramların Değerlendirilmesi

Bir çözelti, eşit mol miktarında A ve B sıvılarını içermektedir. Saf A ve B'nin belirli bir sıcaklıkta buhar basınçları sırasıyla 120 mmHg ve 180 mmHg'dır. Eğer çözeltinin buhar basıncı 164 mmHg ise, A ve B molekülleri arasındaki moleküller arası kuvvetleri, A ve B moleküllerinin kendi arasındaki moleküller arası kuvvetler ile karşılaştırdığımız zaman nasıl bir sonuç çıkarabilir siniz?

Ayrımsal Damıtma

Çözelti buhar basıncı, ayrımsal damıtma ile doğrudan ilgilidir. **Ayrımsal damıtma**, bu çözeltideki sıvı bileşenlerin farklı kaynama noktalarına sahip olmalarına dayanan bir ayırma işlemidir. Ayrımsal damıtma, ayrımsal kristallenmeye biraz benzerlik göstermektedir. İki bileşenli bir sistemi, örneğin benzen-toluen karışımını ayırmak istediğinizi varsayınız. Benzen ve toluenin kaynama noktaları 80,18°C ve 110,68 °C olup aralarında oldukça fark olmasına rağmen her ikisinde oldukça uçucudur. Bu iki maddeyi içeren bir çözelti kaynatıldığında buhar fazı daha uçucu bileşen olan benzene daha zengindir. Eğer buhar ayrı bir kapta yoğunlaştırılırsa ve sıvı tekrar kaynatılırsa, daha yüksek derişimde benzen buhar fazında bulunacaktır. Bu işlem birçok defa tekrarlanırsa, toluenden benzenin tamamen ayrılması mümkündür.

Pratikte, kimyacılar uçucu sıvıları ayırmak için Şekil 12.9'dakine benzer bir düzeneği kullanırlar. Benzen toluen çözeltisi, küçük cam boncuklar ile doldurulmuş uzun bir kolona bağlı yuvarlak dipli balona konur. Çözelti kaynadığında buhar, kolonun alt



Şekil 12.9 Küçük ölçekli bir ayrımsal damıtma için düzenek. Ayırma kolonu çok küçük cam bilyelerle doldurulur. Bu kolon ne kadar uzun olursa, uçucu sıvılar birbirinden o kadar tam ayrılır.

taraflarındaki boncuklar üzerinde yoğunlaşır ve sıvı damıtma balonuna geri döner. Zamanla boncukların sıcaklığı kademeli olarak artarak, buharın yukarıya doğru yavaşça çıkmasını sağlar. Aslında bu boncuk paketleme malzemesi benzen-toluen karışımının sürekli olarak buharlaşma-yoğunlaşma adımlarına maruz kalmasına neden olur. Her bir adımı, kolondaki buharın bileşimi, daha uçucu bileşence veya düşük kaynama noktalı bileşence (bu durumda, benzen) zenginleşecektir. Kolonun tepesine doğru yükselen buhar aslen saf benzendir ve sonra bu benzen yoğunlaştırılarak ayrı bir balonda toplanır.

Ayrımsal damıtma, laboratuvarında olduğu kadar sanayide de oldukça önemlidir. Petrol sanayisi, ham petrolün bileşenlere ayrılması için büyük boyutta ayrımsal damıtma işlemleri uygulamaktadır. Bu işlem, Bölüm 24’de daha ayrıntılı olarak verilecektir.

Kaynama Noktası Yükselmesi

Bir çözeltinin kaynama noktası, buhar basıncının dış atmosfer basıncına eşit olduğu sıcaklıktır (bak. Kesim 11.8). Uçucu olmayan bir çözünen, çözeltinin buhar basıncını düşürdüğüne göre, kaynama noktası da bundan etkilenmelidir. Şekil 12.10, saf suyun faz diyagramını ve sulu çözeltideki değişimleri aynı grafik üzerinde göstermektedir. Sıcaklık artışı ile basıncın izlendiği bu grafikte sıcaklık ne olursa olsun bir çözeltinin buhar basıncı saf çözücüsünden daha düşük olduğundan, çözeltinin sıvı – buhar eğrisi saf çözücünün altında kalır. Sonuçta kesikli çözelti eğrisi $P = 1$ atm işaretli yatay çizgi ile saf çözücünün normal kaynama noktasından *daha yüksek* bir sıcaklıkta kesişir. Bu grafiksel analiz, çözeltinin kaynama noktasının çözücüsü olan saf sudan daha yüksek olduğunu gösterir. **Kaynama noktası yükselmesi**, ΔT_k , çözeltinin kaynama noktasından (T_k) saf çözücünün kaynama noktasının (T_k°) çıkarılması ile ifade edilir:

$$\Delta T_k = T_k - T_k^\circ$$

$T_k > T_k^\circ$ olduğu için, ΔT_k pozitif bir nicelikdir.

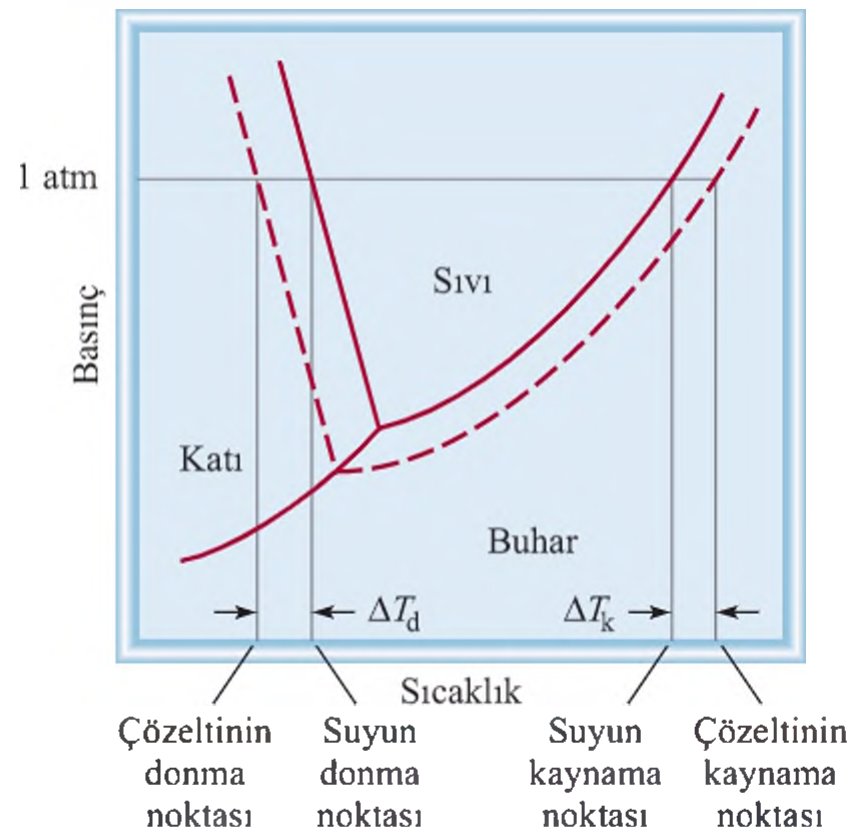
ΔT_k , buhar basıncı düşmesi ile orantılı olduğundan, çözeltinin derişimi (molalite) ile de orantılıdır:

$$\Delta T_k \propto m$$

$$\Delta T_k = K_k m \quad (12.6)$$

Yeni kaynama noktasını hesaplamak için, ΔT_b 'yi çözücünün normal kaynama noktası ile toplayınız.

Şekil 12.10 Sulu çözeltilerin kaynama noktası yükselmesi ve donma noktası alçalmasını gösteren faz diyagramı. Kesikli eğriler çözeltiye, kesiksiz eğriler saf çözücüye aittir. Görüldüğü gibi, çözeltinin kaynama noktası saf sudan daha yüksek, donma noktası ise daha düşüktür.



Çizelge 12.2**Bazı Çok Bilinen Sıvıların Molal Donma Noktası Alçalması ve Molal Kaynama Noktası Yükselmesi Sabitleri**

Çözücü	Normal Donma Noktası (°C)*	K_d (°C/m)	Normal Kaynama Noktası (°C)*	K_k (°C/m)
Su	0	1,86	100	0,52
Benzen	5,5	5,12	80,1	2,53
Etanol	-117,3	1,99	78,4	1,22
Asetik asit	16,6	3,90	117,9	2,93
Sikloheksan	6,6	20,0	80,7	2,79

*1 atm'de ölçülmüştür.

Bu eşitlikte m çözeltinin molalitesi ve K_k molal kaynama noktası yükselmesi sabitidir. K_k 'nin birimi °C/m'dir. Burada derişim biriminin seçimi önemlidir. Sıcaklığın sabit tutulmadığı bir çözeltide, molarite sıcaklık ile değiştiğinden, derişim birimi olarak molarite değil, molalite almanız gerekir.

Bazı çok bilinen çözücülerin K_k değerleri Çizelge 12.2'de verilmiştir. Molalitesi 1,00 m olan bir sulu çözeltinin 100,52 °C'da kaynaması gerektiğini, suyun molal kaynama noktası yükselme sabitini kullanarak Eşitlik 12.6 yardımıyla bulabilirsiniz.

Donma Noktası Alçalması

Bilim ile uğraşmayanlar kaynama noktası yükselmesi olgusundan ebediyen habersiz olabilirken, soğuk iklimde yaşayan dikkatli bir gözlemci donma noktası alçalmasına aşınadır. Örneğin, donmuş yollar ve yaya kaldırımları üzerindeki buz, NaCl ya da CaCl_2 gibi tuzlar serpildiğinde erir. Bu durumda suyun donma noktası düşer ve erime olayı gerçekleşir.

Şekil 12.10'da görüldüğü gibi çözeltinin buhar basıncının düşmesi katı-sıvı eğrisini sola doğru kaydırmaktadır. Sonuç olarak, çözeltiye ait kesikli çizgi yatay çizgiyi (1 atm) suyun donma noktasından daha düşük bir sıcaklıkta kesmektedir. **Donma noktası alçalması yani ΔT_d , saf çözücünün donma noktasından (T_d^0) çözeltinin donma noktasının (T_d) çıkarılması şeklinde tanımlanır:**

$$\Delta T_d = T_d^0 - T_d$$

$T_d^0 > T_d$ olduğu için, ΔT_d pozitif bir niceliktir. ΔT_d , buhar basıncı düşmesi ile orantılı olduğundan, çözeltinin derişimi (molalite) ile de orantılıdır.

$$\Delta T_d \propto m$$

$$\Delta T_d = K_d m \quad (12.7)$$

Burada m çözünenin molalite cinsinden derişimi ve K_d , molal donma noktası alçalması sabitidir (bak. Çizelge 12.2). K_k gibi K_d 'nin birimi de °C/m'dir.

Donma noktası alçalmasının nitel açıklaması şöyledir: Donma, düzensiz bir durumdan düzenli bir duruma geçişi içermektedir ve bu geçişte sistemden enerji uzaklaşmaktadır. Çünkü çözelti çözücünden daha düzensiz olduğundan, düzenli hale gelmesi için saf çözüciye göre daha fazla enerji uzaklaştırılması gerekir. Bu yüzden, çözelti çözücünden daha düşük bir donma noktasına sahiptir. Bir çözelti donduğunda, ayrılan katının çözücü bileşen olduğuna dikkat ediniz.

Kaynama noktası yükselmesinin oluşması için çözünen uçucu olmamalıdır. Ancak donma noktası alçalmasına için böyle bir sınırlama yoktur. Örneğin, 65°C'de kayna-



Uçakların buzlanmasının önlenmesi, donma noktası alçalmasına dayanmaktadır.

Yeni donma noktasını hesaplamak için, ΔT_d 'yi çözücünün normal donma noktasından çıkarınız.

yan ve oldukça uçucu bir sıvı olan metanol (CH_3OH), bazen otomobil radyatörlerinde antifriz olarak kullanılabilir.

Donma noktası alçalmasının pratik uygulaması Örnek 12.8'de gösterilmiştir.



Soğuk iklim bölgelerindeki, araba radyatörlerinde kışın antifriz kullanılmaktadır.

Örnek 12.8

Etilen glikol (EG) yani $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$ yaygın olarak kullanılan bir otomobil antifrizidir. Bu madde suda çözünür ve uçuculuğu oldukça azdır (k.n. 197°C). 2505 g suda 651 g etilen glikol içeren bir çözeltinin donma noktasını hesaplayınız. Yazın arabamızın radyatöründe bu madde kalabilir mi? Etilen glikolün mol kütlesi 62,01 g'dır.

İzlenecek Yol Bu soruda, çözeltinin donma noktasındaki alçalmanın bulunması istenmektedir.

$$\Delta T_d = K_d m$$

hesaplanması istenen sabit bulunması gereken

Önce, verilen bilgilerden çözeltinin molalitesini hesaplayabiliriz. Suyun K_d 'sini Çizelge 12.2'den bulabiliriz.

Çözüm Çözeltinin molalitesini hesaplamak için, EG'nin mol sayısını ve çözücünün kilogram cinsinden kütlesini bilmemiz gerekir. EG'nin mol sayısını ve çözücünün kütlesini (2.505 kg) kullanarak molaliteyi aşağıdaki gibi hesaplarız:

$$\begin{aligned} 651 \text{ g EG} \times \frac{1 \text{ mol EG}}{62,07 \text{ g EG}} &= 10,5 \text{ mol EG} \\ m &= \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözücünün kütlesi(kg)}} \\ &= \frac{10,5 \text{ mol EG}}{2,505 \text{ kg H}_2\text{O}} = 4,19 \text{ mol EG/kg H}_2\text{O} \\ &= 4,19 m \end{aligned}$$

Eşitlik (12.7) ve Çizelge 12.2'den

$$\begin{aligned} \Delta T_d &= K_d m \\ &= (1,86^\circ\text{C}/m)(4,19 m) \\ &= 7,79^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Saf su 0°C 'da donduğundan, çözelti $0 - 7,79^\circ\text{C}$ yani $-7,79^\circ\text{C}$ 'da donacaktır. Kaynama noktası yükselmesini de aynı yolla aşağıdaki gibi hesaplarız:

$$\begin{aligned} \Delta T_b &= K_b m \\ &= (0,52^\circ\text{C}/m)(4,19 m) \\ &= 2,2^\circ\text{C} \end{aligned}$$

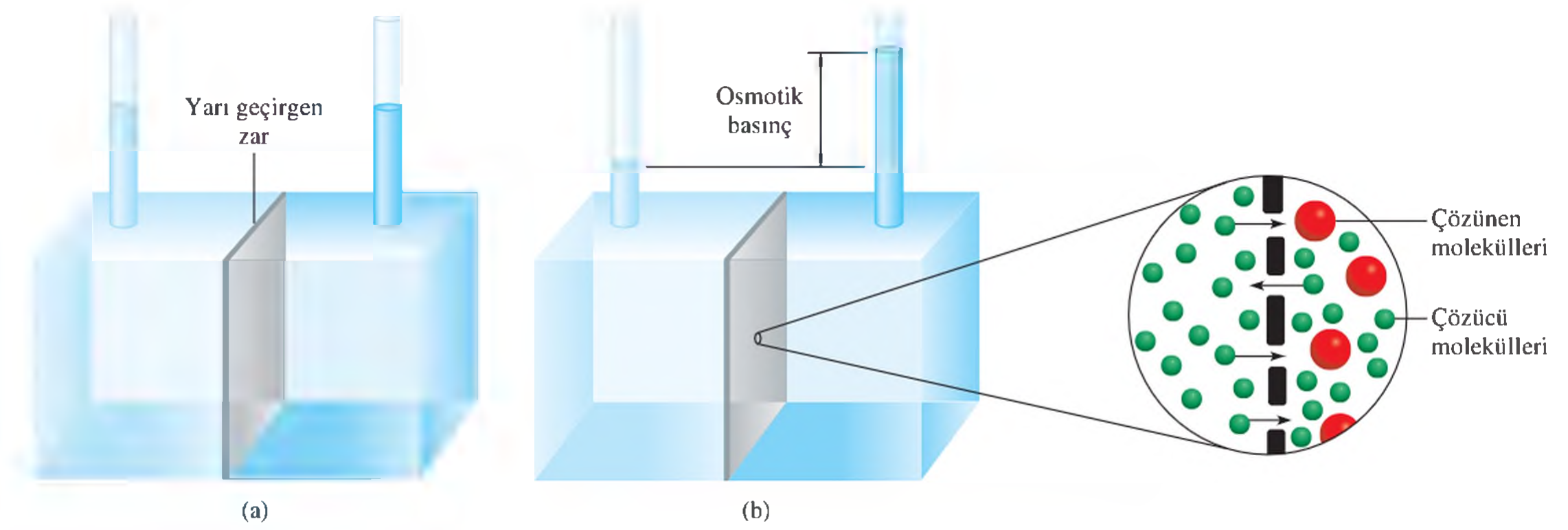
Çözelti $(100 + 2,2)^\circ\text{C}$ ya da $102,2^\circ\text{C}$ 'da kaynayacağından, yazın da araba radyatöründe bu antifrizin kalması tercih edilir.

Alıştırma 3202 g suda 478 g etilen glikol içeren bir çözeltinin donma ve kaynama noktasını hesaplayınız.

Benzer problemler: 12.56, 12.59.

Kavramların Değerlendirilmesi

Örneğin benzende çözülmüş naftalini esas alarak, sulu olmayan çözeltiler için Şekil 12.10'a benzer bir faz diyagramı çizin. Bu durumda donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi hala geçerli olabilir mi?

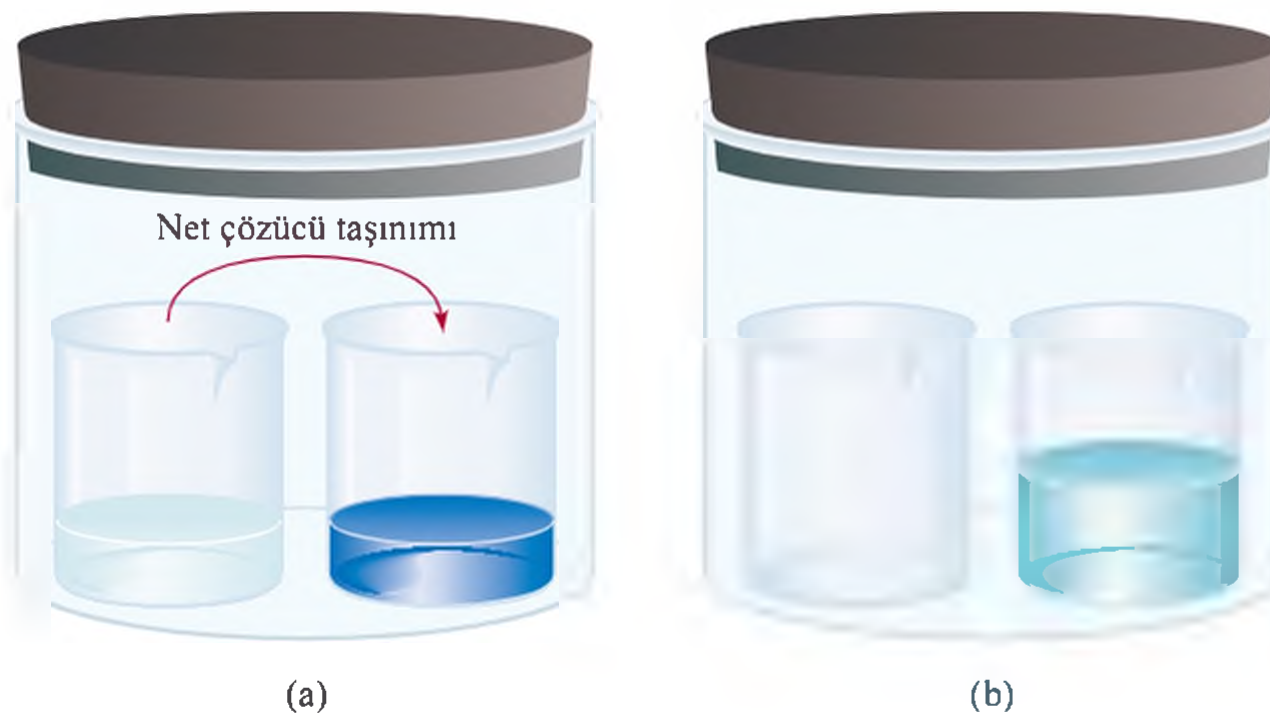


Şekil 12.11 Ozmotik basınç. (a) Saf çözücü (sol) ve çözelti (sağ) seviyeleri başlangıçta eşittir. (b) Ozmos esnasında, çözücünün soldan sağa net akışının bir sonucu olarak, çözelti tarafındaki seviye yükselir. Ozmotik basınç, denge anında sağ tüpteki sıvı sütun tarafından uygulanan hidrostatik basınca eşittir. Saf çözücü yerine, sağdakinden daha seyreltik bir çözelti konulduğu zaman da aynı etki meydana gelir.

Ozmotik Basınç

Birçok kimyasal ve biyolojik olay **ozmos** olayına, yani **çözücü moleküllerinin gözenekli bir zar boyunca seyreltik çözeltilerden derişik çözeltilere doğru seçimli olarak geçişine** dayanır. Şekil 12.11 bu olayı açıklamaktadır. Düzenegın sol bölmesi saf çözücü, sağ bölmesi ise bir çözelti içermektedir. Bu iki bölme, **çözücü moleküllerinin geçmesine izin veren ancak çözünen moleküllerinin geçişini engelleyen bir yarı geçirgen zarla** ayrılmıştır. Başlangıçta iki tüp içindeki sıvı seviyeleri eşittir [bak. Şekil 12.11 (a)]. Bir süre sonra, sağ tüpteki seviye yükselmeye başlar ve bu durum dengeye erişilinceye kadar devam eder. Bir çözeltinin **ozmotik basıncı (π)**, **ozmosu durdurmak için gerekli basınçtır**. Şekil 12.11 (b)'de gösterildiğı gibi bu basınç son sıvı seviyeleri arasındaki farktan doğrudan ölçülebilir.

Bu durumda, suyun soldan sağa doğru kendiliğinden hareket etmesine sebep olan nedir? Saf suyun ve çözeltideki suyun buhar basınçlarını karşılaştıralım (bak. Şekil 12.12). Saf suyun buhar basıncı daha yüksek olduğundan, suyun soldaki beherden sağdakine net bir transferi vardır. Yeterli zaman verildiğinde bu transfer su bitene kadar devam edecektir. İşte ozmos esnasında da benzer bir güç saf suyun çözelti tarafına doğru hareketine neden olur.



Şekil 12.12 (a) Kabin içinde eşit olmayan buhar basınçları soldaki beherden (saf su içeren) sağdakine (çözelti içeren) net bir su aktarımına yol açar. (b) Denge, soldaki beherdeki suyun tamamı sağdaki beherde aktarılmıştır. Çözücü aktarımını sağlayan bu itici güç, Şekil 12.11'de gösterilen ozmos olayına benzer.

Animasyon
Ozmos

Bir çözeltinin ozmotik basıncı;

$$\pi = MRT \quad (12.8)$$

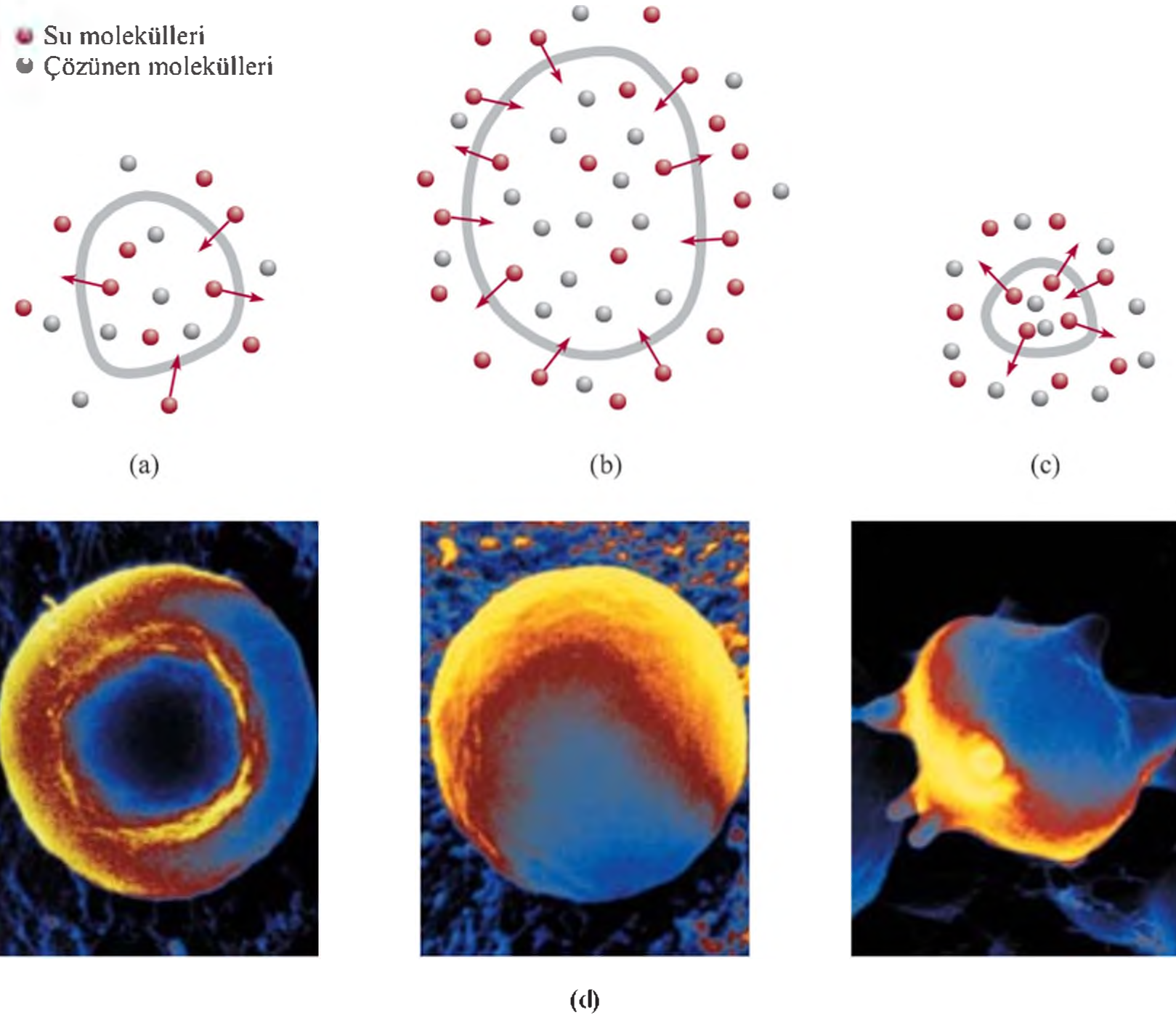
eşitliği ile verilir. Burada, M çözeltinin molaritesi, R gaz sabiti (0,0821 L · atm/K · mol) ve T mutlak sıcaklıktır. Ozmotik basınç, π , atmosfer cinsinden ifade edilir. Ozmotik basınç ölçümleri sabit sıcaklıkta yapıldığından, burada derişim molalite yerine molarite olarak alınır.

Kaynama noktası yükselmesi ve donma noktası alçalması gibi, ozmotik basınç da çözeltinin derişimiyle doğru orantılıdır. Bu durum beklediğimiz bu olaydır. Bütün koligatif özelliklerin sadece çözeltideki çözünen taneciklerinin sayısına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Eğer iki çözelti eşit derişimde ve aynı ozmotik basınçta ise bu çözeltilerin *izotonik* olduğu söylenir. Eğer iki çözeltinin ozmotik basınçları eşit değilse, daha yüksek derişimli çözelti *hipertonik*, daha seyreltik çözelti *hipotonik* (Şekil 12.13) olarak adlandırılır.

Ozmos yaygın ve çok iyi bilinen bir olay olmakla beraber, yarı geçirgen zarın bazı molekülleri alıkoyup, diğer moleküllerin geçişine nasıl izin verdiği genellikle az bilinir. Bu çoğu kez bir tanecik boyutu olayıdır. Yarı geçirgen zar sadece çözücü moleküllerinin geçişine izin verecek kadar küçük gözeneklere sahip olabilmektedir. Bazen zarın bu seçiciliğini farklı bir mekanizma sağlayabilmektedir. Örneğin, çözücünün zar içindeki yüksek “çözünürlüğü”de yarı geçirgen zarın bu seçiciliğini sağlayabilir.

Ozmotik basınç olgusu, çok ilginç uygulamalarda kendini gösterir. Dış çevreye karşı yarı geçirgen bir zar ile korunan, alyuvar içeriğini araştırmak için, biyokimyacılar hemoliz olarak adlandırılan bir teknik kullanırlar. Bu işlemde, alyuvarlar bir hipotonik çözelti içerisine konur. Hipotonik çözelti hücrenin içinden daha düşük derişimli

Şekil 12.13 Hücre, (a) izotonik çözeltide (b) hipotonik çözeltide ve (c) hipertonik çözeltide. Hücre (a)'da değişikliğe uğramaz, (b)'de şişer ve (c)'de büzülür. (d) Soldan sağa doğru: izotonik çözelti, hipotonik çözelti ve hipertonik çözelti içerisinde bir alyuvar hücresi.



olduğundan. Şekil 12.13 (d)'de gösterildiği gibi su, hücre içine doğru hareket eder. Bu yolla hücreler şişer ve sonunda patlar, hemoglobün ve diğer moleküller serbest kalır.

Ev yapımı reçel ve marmelatın korunması, ozmotik basıncın uygulamasına başka bir örnektir. Çok miktardaki şeker, gıda zehirlenmesine neden olabilecek bakterileri öldürdüğü için reçele eklenen şekerin büyük bir miktarı, gerçekte koruma işlemi amaçlıdır. Şekil 12.13 (c)'de görüldüğü gibi, bir bakteri hücresi hipertonic (yüksek derişimli) bir şeker çözeltisi içindeyken, ozmos yoluyla bakteri hücresindeki su dışarıya çıkarak yüksek derişimli çözeltiye yönelir. *Krenasyon* olarak bilinen bu işlem hücrenin büzülmesine ve sonunda işlevinin durmasına neden olur. Aynı şekilde, meyvelerin doğal asitliği de bakterilerin büyümesini önler.

Ozmotik basınç aynı zamanda bitkilerde suyun köklerden yukarıya doğru taşınması için kullanılan başlıca olaydır. *Terleme* olarak adlandırılan bir işlemde, yapraklar sürekli havaya doğru su kaybettiklerinden, yaprak sıvısındaki çözünen madde derişimini artır. Su ağacın gövdesinden, dallarından ve saplarından ozmotik basınç ile iletilir. Yaklaşık 120 m boya erişebilen Kaliforniya kızıl kereste ağaçlarının tepesindeki yapraklara kadar suyun taşınabilmesi için gerekli basınç 10–15 atm'e kadar çıkar. (Suyun sadece birkaç santimetre yukarıya yükselmesine neden olan kapılar etki. Kesim 11.3'de anlatılmıştır.)

Ozmotik basınç ölçümünün bu çözeltinin derişimini bulmak için kullanılabileceği Örnek 12.9'da gösterilmektedir.



Kaliforniya kızıl ağacı.

Örnek 12.9

Deniz suyunun ortalama ozmotik basıncı Şekil 12.11'de gösterilen düzencele 25°C'de 30 atm olarak ölçülmüştür. Deniz suyu ile izotonik olan sakkarozun (C₁₂H₂₂O₁₁) sulu çözeltisinin molar derişimini hesaplayınız.

İzlenecek Yol Sakkaroz çözeltisinin deniz suyu ile izotonik olduğunu söylediğimizde, bu iki çözeltinin ozmotik basınçları hakkında ne sonuca varabiliriz?

Çözüm Sakkaroz çözeltisi deniz suyu ile izotonik olduğuna göre, aynı ozmotik basınca, 30,0 atm'e sahip olması gerekir. Eşitlik 12.8'i kullanılarak aşağıdaki sonucu buluruz.

$$\begin{aligned}\pi &= MRT \\ M &= \frac{\pi}{RT} = \frac{30,0 \text{ atm}}{(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(298 \text{ K})} \\ &= 1,23 \text{ mol/L} \\ &= 1,23 M\end{aligned}$$

Alıştırma 16 °C'de 0.884 M üre çözeltisinin ozmotik basıncı(atm) nedir?

Benzer problem: 12.63.

Kavramların Değerlendirilmesi

Belirli bir sıcaklıkta deniz suyu örneğinin ozmotik basıncının 25 atm olduğu ifade edilirse, bu ne anlama gelmektedir?

Mol Kütlesinin Belirlenmesinde Kolligatif Özelliklerin Kullanılması

Elektrolit olmayan çözeltilerin kolligatif özellikleri, çözünen maddenin mol kütlesini belirlemekte kullanılabilir. Kuramsal olarak, dört kolligatif özellikten herhangi biri bu amaç için uygundur. Ancak pratikte, donma noktası alçalması ve ozmotik basınç daha

belirgin değişimler göstermesi nedeniyle mol kütlesi tayininde kullanılır. İşlem aşağıdaki gibi uygulanır. Deneysel olarak tayin edilen donma noktası alçalması veya ozmotik basınçtan, çözeltinin molaritesi veya molalitesi hesaplanabilir. Çözünen maddenin kütlesi bilinirse, mol kütlesi Örnek 12.10 ve 12.11’de gösterildiği gibi tayin edilebilir.

Örnek 12.10

Kaba formülü C_5H_4 olan bir bileşiğin 7,85 gramlık örneği 301 gram benzende çözülmiştir. Bu çözeltinin donma noktası, saf benzenin donma noktasından 1.05°C düşüktür. Bu bileşiğin mol kütlesi ve molekül formülü nedir?

İzlenecek Yol Bu problemin çözümü üç basamakta gerçekleştirilir. Önce, donma noktası alçalmasından çözeltinin molalitesini hesaplarız. Sonra, molaliteden 7,85 gram bileşiğin mol sayısını ve buradan da bileşiğin mol kütlesini belirleriz. Son olarak, deneysel mol kütlesi ile kaba mol kütlesini karşılaştırarak molekül formülüne ulaşırız.

Çözüm Bileşiğin mol kütlesini hesaplamak için çevrimlerin sırası şöyledir:

donma noktası alçalması \longrightarrow molalite \longrightarrow mol sayısı \longrightarrow mol kütlesi

Birinci basamak, çözeltinin molalitesinin hesaplanmasıdır. Eşitlik (12.7) ve Çizelge 12.2’den

$$\text{molalite} = \frac{\Delta T_d}{K_d} = \frac{1,05^\circ\text{C}}{5,12^\circ\text{C}/m} = 0,205 m$$

1 kg çözücünde 0,205 mol çözünen madde olduğundan, 301 g veya 0,301 kg çözücündeki çözünenin mol sayısı şöyle bulunur:

$$0,301 \text{ kg} \times \frac{0,205 \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 0,0617 \text{ mol}$$

Buradan çözünenin mol kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

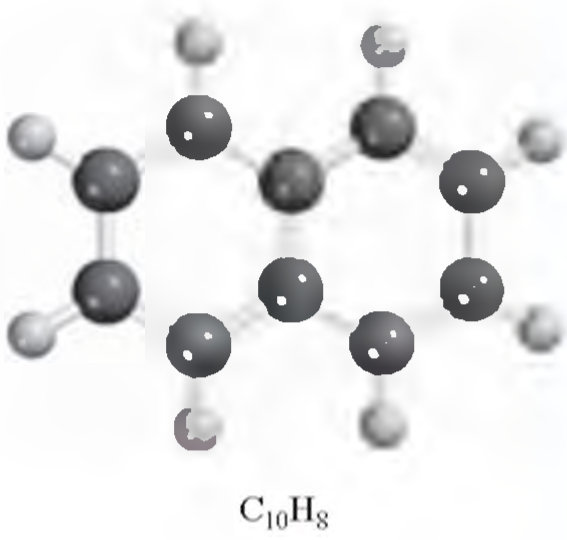
$$\begin{aligned} \text{mol kütlesi} &= \frac{\text{bileşiğin gramı}}{\text{bileşiğin molü}} \\ &= \frac{7,85 \text{ g}}{0,0617 \text{ mol}} = 127 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Şimdi molekül formül kütlesinin, kaba molekül formül kütlesine oranını bulabiliriz:

$$\frac{\text{mol kütlesi}}{\text{kaba mol kütlesi}} = \frac{127 \text{ g/mol}}{64 \text{ g/mol}} \approx 2$$

Buna göre, molekül formülü $(C_5H_4)_2$ yani $C_{10}H_8$ ’dir (naftalin).

Alıştırma 0,85 gram bir organik bileşiğin 100,0 g benzende çözünmesiyle oluşan çözelti $5,16^\circ\text{C}$ ’da donmaktadır. Çözeltinin molalitesi ve çözünenin mol kütlesi nedir?



Berzer problem: 12.57.

Örnek 12.11

35,0 gram hemoglobin (Hb), yeterli miktarda suda çözülerek 1 L'lik bir çözelti hazırlanmıştır. Eğer çözeltinin ozmotik basıncı 25°C'de 10,0 mmHg ise hemoglobinin mol kütlesi nedir?

İzlenecek Yol Hb'nin mol kütlesinin hesaplanması isteniyor. Çözüm basamakları Örnek 12.10'da verilen basamaklarla benzerdir. Çözeltinin ozmotik basıncından, molaritesini hesaplarız. Sonra molariteden, 35,0 g Hb'nin mol sayısını ve buradan da mol kütlesini belirleriz. π ve sıcaklık için hangi birimleri kullanmalıyız?

Çözüm Dönüşümlerin sırası aşağıdaki gibidir:

ozmotik basınç \longrightarrow molarite \longrightarrow mol sayısı \longrightarrow mol kütlesi

İlk önce Eşitlik 12.8'i kullanarak molariteyi hesaplayalım.

$$\begin{aligned}\pi &= MRT \\ M &= \frac{\pi}{RT} \\ &= \frac{10,0 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}}{(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(298 \text{ K})} \\ &= 5,38 \times 10^{-4} M\end{aligned}$$

Çözeltinin hacmi 1 L olduğundan $5,38 \times 10^{-4}$ mol Hb içermelidir. Bu miktarı mol kütlesini hesaplamak için kullanabiliriz:

$$\begin{aligned}\text{Hb'nin molü} &= \frac{\text{Hb'nin kütlesi}}{\text{Hb'nin mol kütlesi}} \\ \text{Hb'nin mol kütlesi} &= \frac{\text{Hb'nin kütlesi}}{\text{Hb'nin molü}} \\ &= \frac{35,0 \text{ g}}{5,38 \times 10^{-4} \text{ mol}} \\ &= 6,51 \times 10^4 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

Benzer problemler: 12.64, 12.66.

Alıştırma 2,47 gram bir organik polimer içeren 202 mL benzen çözeltisi 21°C'de 8,63 mmHg'lik ozmotik basınca sahiptir. Polimerin mol kütlesini hesaplayınız.

Örnek 12.11'de verilen 10,0 mmHg gibi bir basınç tam ve doğru olarak ölçülebilir. Bu nedenle, proteinlerde olduğu gibi çok büyük moleküllerin mol kütleleri ozmotik basınç ölçümleri ile kolaylıkla belirlenebilir. Ozmotik basınç yönteminin, donma noktası alçalması yöntemine göre çok daha pratik ve uygulanabilir olduğunu görmek için aynı hemoglobin çözeltisinin donma noktasındaki değişimi hesaplayalım. Bir sulu çözelti epeyce seyreltikse, molar derişim yaklaşık olarak molaliteye eşit olur. (Eğer sulu çözeltinin yoğunluğu 1 g/mL ise molarite, molaliteye eşit olacaktır.) Buna göre Eşitlik 12.7'den:

$$\begin{aligned}\Delta T_d &= (1,86^\circ\text{C}/m)(5,38 \times 10^{-4} m) \\ &= 1,00 \times 10^{-3}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Görüldüğü gibi donma noktasında bir derecenin binde biri kadarlık alçalma, duyarlı ve doğru bir ölçüm yapmak için çok küçük bir sıcaklık değişimidir. Bu nedenle,

Cıvanın yoğunluğu 13,6 g/mL'dir. Buna göre, 10 mmHg, suyun bir kolonda 13,6 cm yükselmesine karşılık gelir.

donma noktası alçalması yöntemi, iyi çözünen ve mol kütlesi 500 g'dan az olan küçük moleküllerin mol kütlesinin belirlenmesinde daha uygundur. Çünkü bunların çözeltilerinin donma noktası ölçülebilecek kadar alçalır.

12.7 Elektrolit Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri

Elektrolitlerin kolligatif özellikleri, elektrolit olmayanların kolligatif özellikleri için kullanılan yöntemden biraz daha farklıdır. Bunun nedeni, bu elektrolitlerin çözelti içerisinde iyonlara ayrışmasıdır. Bir elektrolit bileşik çözüldüğü zaman, bileşiğin bir birimi iki veya daha fazla iyonla ayrışır (Bunun bir çözeltinin kolligatif özelliklerini belirleyen, çözünen taneciklerin toplam sayısı olduğunu hatırlayınız.). Örneğin NaCl'in her birimi Na^+ ve Cl^- olmak üzere iki iyonla ayrışır. Bu yüzden, 0,1 m NaCl çözeltisinin kolligatif özellikleri, sakkaroz gibi elektrolit olmayan bir bileşiğin 0,1 m çözeltisinin kolligatif özelliklerinin iki katı büyüklüğünde olmalıdır. Benzer şekilde, 0,1 m CaCl_2 çözeltisinin donma noktası alçalmasının, 0,1 m sakkaroz çözeltisinin 3 katı kadar olması beklenir. Çünkü her bir CaCl_2 , 3 iyon oluşturmaktadır. Bu etkiyi hesaplamak için *van't Hoff faktörü* olarak adlandırılan aşağıdaki bağıntıyı yazarız:

$$i = \frac{\text{ayrışmadan sonra çözeltideki gerçek tanecik sayısı}}{\text{başlangıçta çözeltideki çözünmüş formül birimi sayısı}} \quad (12.9)$$

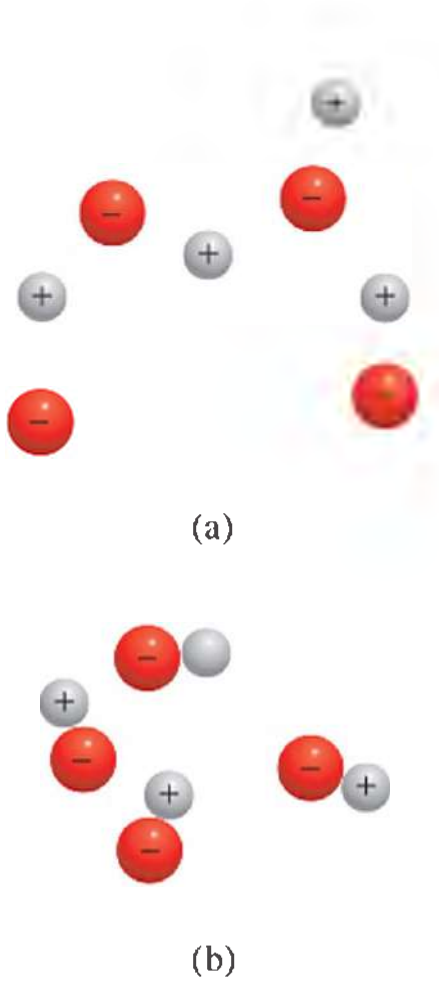
NaCl veya KNO_3 'ün her birimi ayrışarak iki iyon ($i = 2$) verir; Na_2SO_4 veya MgCl_2 'ün her birimi ayrışarak üç iyon ($i = 3$) verir.

Bu nedenle, elektrolit olmayan maddelerin hepsi için i değeri 1 olmalıdır. NaCl ve KNO_3 gibi kuvvetli elektrolitler için $i = 2$, Na_2SO_4 ve MgCl_2 gibi kuvvetli elektrolitler için ise $i = 3$ 'tür. Sonuç olarak, kolligatif özellikler için önceki eşitlikler yeniden düzenlenmelidir:

$$\Delta T_k = iK_k m \quad (12.10)$$

$$\Delta T_d = iK_d m \quad (12.11)$$

$$\pi = iMRl \quad (12.12)$$



Şekil 12.14 Çözeltideki (a) serbest iyonlar, (b) iyon çiftleri. Böyle bir iyon çifti net yük taşımaz ve dolayısıyla çözelti içinde elektriği iletmez.

Gerçekte, çok yüksek derişimlerdeki anyon ve katyonlar arasında güçlü elektros-
tatik kuvvetler olduğundan, elektrolit çözeltilerinin kolligatif özellikleri genellikle
beklenenden daha küçüktür. Bir anyon ve bir katyonun elektros-
tatik kuvvetlerle bir
arada tutulmasıyla meydana gelen tanecik çiftine **iyon çifti** denir. İyon çifti oluşumu-
nun çözeltideki taneciklerin sayısını azaltması, özellikle derişik çözeltilerde kolligatif
özelliklerde bir azalmaya neden olur (Şekil 12.14). Mg^{2+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} ve PO_4^{3-} gibi
çok yüklü iyonlar içeren elektrolitler, NaCl ve KNO_3 gibi, tek yüklü iyonlar içeren
elektrolitlerden daha fazla iyon çifti oluşturma eğilimine sahiptirler.

Çizelge 12.3'de, deneysel olarak ölçülen i değeri ve ayrışmanın tam olduğu kabul
edilerek hesaplanan i değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi verilen derişimlerde iyon
çifti oluşumu sözkonusu olduğundan bazı değerler birbirine çok yakın, ancak eşit
değildir.

¹Jacobus Hendricus van't Hoff (1852–1911). Hollandalı kimyacı. Zamanın en önde gelen kimyacıların-
dan biridir. van't Hoff, termodinamik, moleköl yapısı ve optikçe aktiflik ve çözelti kimyası üzerine önemli
çalışmalar yapmıştır. 1901'de Kimyada ilk Nobel Ödülü'nü almıştır.

Çizelge 12.3 0,0500 M Elektrolit Çözeltilerin 25 °C'de van't Hoff Faktörleri

Elektrolit	i (Ölçülen)	i (Hesaplanan)
Sakkaroz*	1,0	1,0
HCl	1,9	2,0
NaCl	1,9	2,0
MgSO ₄	1,3	2,0
MgCl ₂	2,7	3,0
FeCl ₃	3,4	4,0

*Sakkaroz elektrolit değildir. Burada sadece karşılaştırma için alınmıştır.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda verilen her bir sıktaki bileşiklerden hangisinin suda iyon çifti oluşturma eğilimi daha fazladır, gösteriniz: (a) NaCl veya Na₂SO₄, (b) MgCl₂ veya MgSO₄, (c) LiBr veya KBr.

Örnek 12.12

0,010 M potasyum iyodür (KI) çözeltisinin 25°C'deki ozmotik basıncı 0,465 atm'dir. Bu derişimde KI için van't Hoff faktörünü hesaplayınız.

İzlenecek Yol KI'nın kuvvetli elektrolit olduğuna dikkat ediniz. Bu durumda, çözeltide tamamen ayrışmasını bekleriz ($i = 2$). Eğer bu doğrusa, ozmotik basıncı şöyle olmalıydı:

$$2(0,010 M)(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(298 \text{ K}) = 0,489 \text{ atm}$$

Ancak ölçülen ozmotik basınç sadece 0,465 atm'dir. Yani, hesaplanan ozmotik basınçtan daha küçüktür. Bu durum çözeltideki çözünen taneciklerinin (K⁺ ve I⁻ iyonları) sayısını azaltan bir iyon çifti oluşumunu gösterir.

Çözüm Eşitlik (12.12)'den i hesaplanır:

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{\pi}{MRT} \\
 &= \frac{0,465 \text{ atm}}{(0,010 M)(0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol})(298 \text{ K})} \\
 &= 1,90
 \end{aligned}$$

Berzer problem: 12.77.

Alıştırma 0,100 m MgSO₄ çözeltisinin donma noktası alçalması 0,225°C'dir. Bu derişimde MgSO₄'ın van't Hoff faktörünü hesaplayınız.

Kavramların Değerlendirilmesi

Kanın ozmotik basıncı 7,4 atm'dır. Bir doktorun damara enjeksiyon için kullanacağı tuzlu su çözeltisinin (NaCl çözeltisi) derişimini ne olmalıdır? Fizyolojik sıcaklık için 37 °C'yi kullanınız.

Sayfa 548'deki "Kimya İşbaşında" adlı okuma parçasında diyaliz açıklanmakta olup, tıbbi işlemle bir kişinin kanının toksinlerden temizlenmesi anlatılmıştır.

Diyaliz

Böbreklerin görevi üre, toksinler, fazla mineral tuzları gibi metabolik atıkları ve kandaki suyu süzmektir. İnsanlarda, iki böbrek yaklaşık olarak 310 g toplam ağırlığa sahiptir. Küçük boyutlarına rağmen, büyük miktarda kan (yaklaşık 1L/dakika) böbreklerden akar. Her bir böbrek, nefron adı verilen, böbrek atardamarından kılcal damarların çok küçük ağları olan glomerüllere kan taşıyan, birkaç milyon süzme birimine sahiptir. Glomerüllerde, normal kan basıncı suyu ve çözünmüş maddeleri kılcal damarların gözeneklerine doğru zorlar; ancak proteinleri ve kırmızı kan hücrelerini çok büyük oldukları için zorlayamaz. Süzülen sıvı, kanın büyük oranda kaybedemeyeceği pek çok maddeyi içerir: tuzlar, şekerler, amino asitler ve su. Maddelerin çoğu, etkin taşınım denilen bir işlemle (bir maddenin düşük derişim bölgesinden yüksek derişim bölgesine hareketi) kana geri emdirilir. Suyun çoğu da ozmos ile kana geri döner. Sonuç olarak, fazla su, mineral tuzları ve atık maddeler vücuttan idrar olarak boşaltılır.

Böbrek bozuklukları hayatı tehdit edebilir. Böbrekler iflas ettiğinde, atıkların vücuttan yapay yollarla uzaklaştırıldığı diyaliz işlemiyle kan temizlenmelidir. Bu işlem için gerçekleştirilen *hemodiyalizde*, kan vücuttan uzaklaştırılarak diyaliz cihazı denilen bir makineye pompalanır ve burada toksik maddeler süzülür, ardından temizlenen kan hastanın kan dolaşımına geri verilir. Bu işlemde, basit bir cerrahi girişimle, kan hastanın atardamarından diyaliz cihazına pompalanır ve ardından damara geri gönderilir. Kan, diyaliz cihazının içindeki yapay gözenekli bir



Diyalize giren bir hasta.

membran ile diyalizat denilen bir akışkandan ayrılır. Diyalizat, kanın çoğu bileşenini benzer derişimlerde içerir ve kandan ve diyalizattan bu maddelerin membran boyunca herhangi bir net geçişi gerçekleşmez. Membran gözeneklerinin boyutu, sadece küçük atık maddelerin temizlenmek üzere diyalizata geçebileceği kadardır. Proteinler, hücreler ve diğer önemli kan bileşenlerinin tekrar membrandan geçişi boyutlarından dolayı engellenir ve bu maddeler temizlenen (diyaliz edilen) kanda kalır. Genellikle, hemodiyaliz işlemi 4-6 saat sürer. Çoğu durumda, kanı temizlemek için haftada bir yapılan tedavi yeterlidir.

12.8 Kolloitler

Buraya kadar verilen çözeltiler gerçek homojen karışımlardır. Şimdi, su konulmuş bir behere son derece ince kum tanecikleri eklenerek karıştırıldığında ne olduğunu düşünelim. Başlangıçta kum tanecikleri asılı kalır ve daha sonra zamanla beherin dibine çöker. Bu heterojen karışıma bir örnektir. İşte çözelti ile süspansiyon arasındaki ara hal, kolloidal süspansiyon ya da basitçe kolloit olarak adlandırılır. **Kolloit**, bir maddenin taneciklerinin (dağılımı faz) diğer bir madde ortamında yani dağılım ortamında dağılmış halidir. Kolloidal tanecikler, normal çözünen moleküllerden çok daha büyük olup 1×10^3 pm ile 1×10^6 pm aralığındadır. Kolloidal süspansiyon, normal çözeltinin homojenliğinden de yoksundur. Dağılım faz ve dağıtıcı ortam Çizelge 12.4'de gösterildiği gibi gaz, sıvı, katı veya farklı fazların bileşimi olabilir.

Çizelge 12.4 Kolloit Türleri

Dağıtıcı Ortam	Dağılan Faz	Adı	Örnek
Gaz	Sıvı	Aerosol	Sis, pus
Gaz	Katı	Aerosol	Duman
Sıvı	Gaz	Köpük	Çırpılmış krema
Sıvı	Sıvı	Emülsiyon	Mayonez
Sıvı	Katı	Sol	Magnezya sütü
Katı	Gaz	Köpük	Plastik köpükler
Katı	Sıvı	jel	Jöle, tereyağ
Katı	Katı	Katı sol	Bazı alaşımlar (çelik), opal

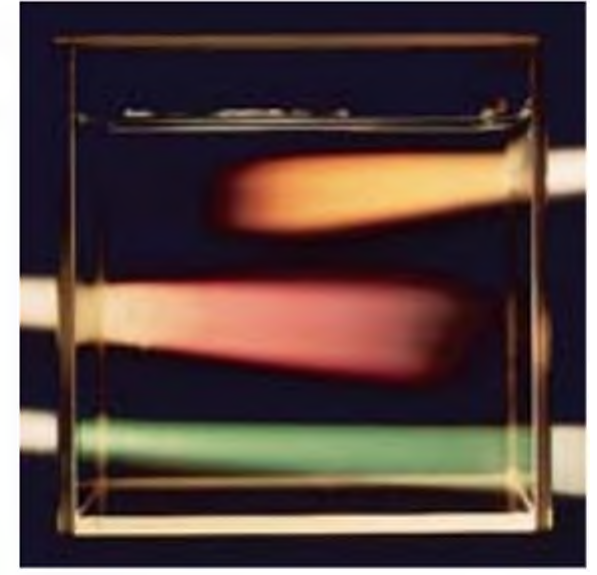
Bazı kolloitler bize oldukça tanıdaktır. *Aerosol*, bir gaz içerisinde dağılmış katı tanecikler veya sıvı damlacıklar içerir. Örneğin sis ve duman. Mayonez, suda küçük damlacıklar halinde yağın dağıtılmasıyla yapılır ve emülsiyona bir örnektir. *Emülsiyon*, bir sıvı içerisinde diğer sıvı damlacıkların dağıtılması ile ortaya çıkan karışımdır. Magnezya sütü, *sol* için bir örnek olup, bir sıvı içerisinde katı parçacıkların süspansiyonudur.

Bir çözelti ile bir kolloidi ayırt etmenin bir yolu, *Tyndall*[†] etkisidir. Bir ışık demeti bir kolloitten geçirildiğinde dağılan faz tarafından ışık saçılma uğrar (Şekil 12.15). Normal çözeltilerde çözünen moleküller çok küçük olduğundan görünür ışık ile etkileşime giremezler ve bu nedenle böyle bir saçılma gözlenmez. Tyndall etkisinin diğer bir görüntüsü, duman veya toz tarafından havada güneş ışığının saçılmasıyla ortaya çıkar (Şekil 12.16).

Hidrofilik ve Hidrofobik Kolloitler

Dağıtıcı ortamı su olan kolloitler, en önemli kolloitler arasında yer alırlar. Bu tür kolloitler, *hidrofilik* yani *su seven*, *hidrofobik* yani *su sevmeyen* olarak iki sınıflamada adlandırılır. Hidrofilik kolloitler, genellikle proteinler gibi oldukça büyük molekülleri içeren çözeltilerdir. Sulu fazda, hemoglobün gibi bir protein öyle bir kıvrılır ki, su molekülleri ile iyon-dipol kuvvetleriyle veya hidrojen-bağı oluşumuyla etkileşebilen molekülün hidrofilik kısımları dış yüzeyi oluşturur (Şekil 12.17).

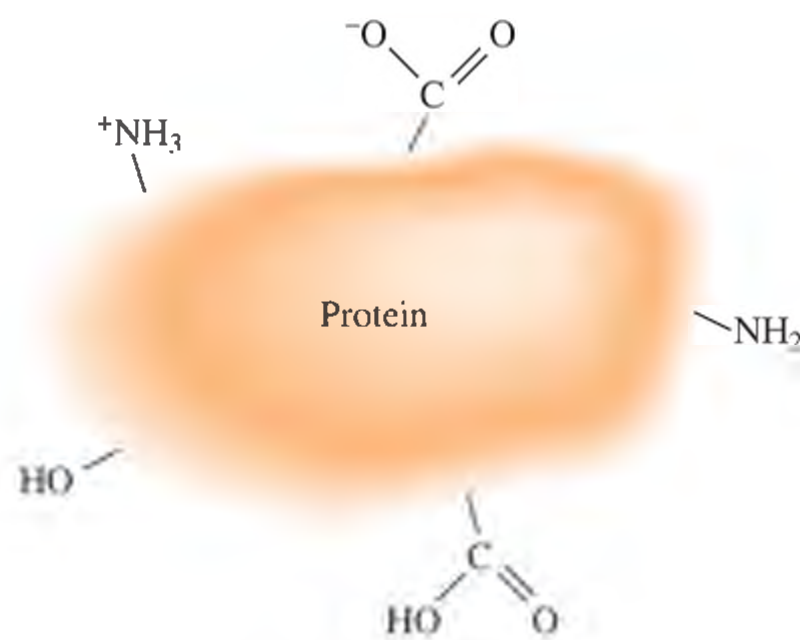
[†]John Tyndall (1820–1893), İrlandalı Fizikçi. Tyndall, manyetizma alanında önemli bir çalışma yaptı ve buzul hareketini açıkladı.



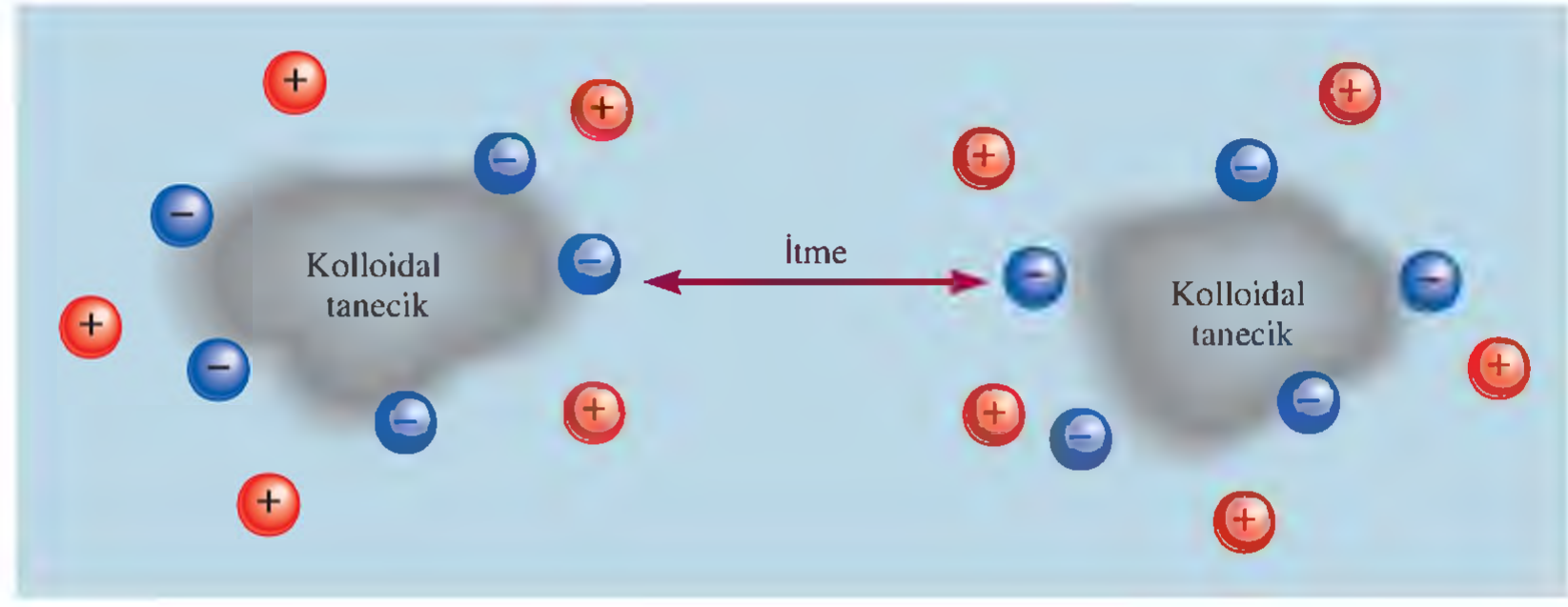
Şekil 12.15 Üç beyaz ışık demeti, su içinde kükürt parçacıkları içeren bir kolloitten geçerken turuncu, pembe ve mavimsi yeşile dönüşür. Oluşan renkler, taneciklerin boyutuna ve ayrıca baktığımız konuma bağlıdır. Dağılmış tanecikler küçüldükçe, saçılan ışığın dalga boyu da kısalmış ve daha çok mavi olur.



Şekil 12.16 Güneş ışığı, havadaki toz parçacıkları tarafından saçılmıştır.



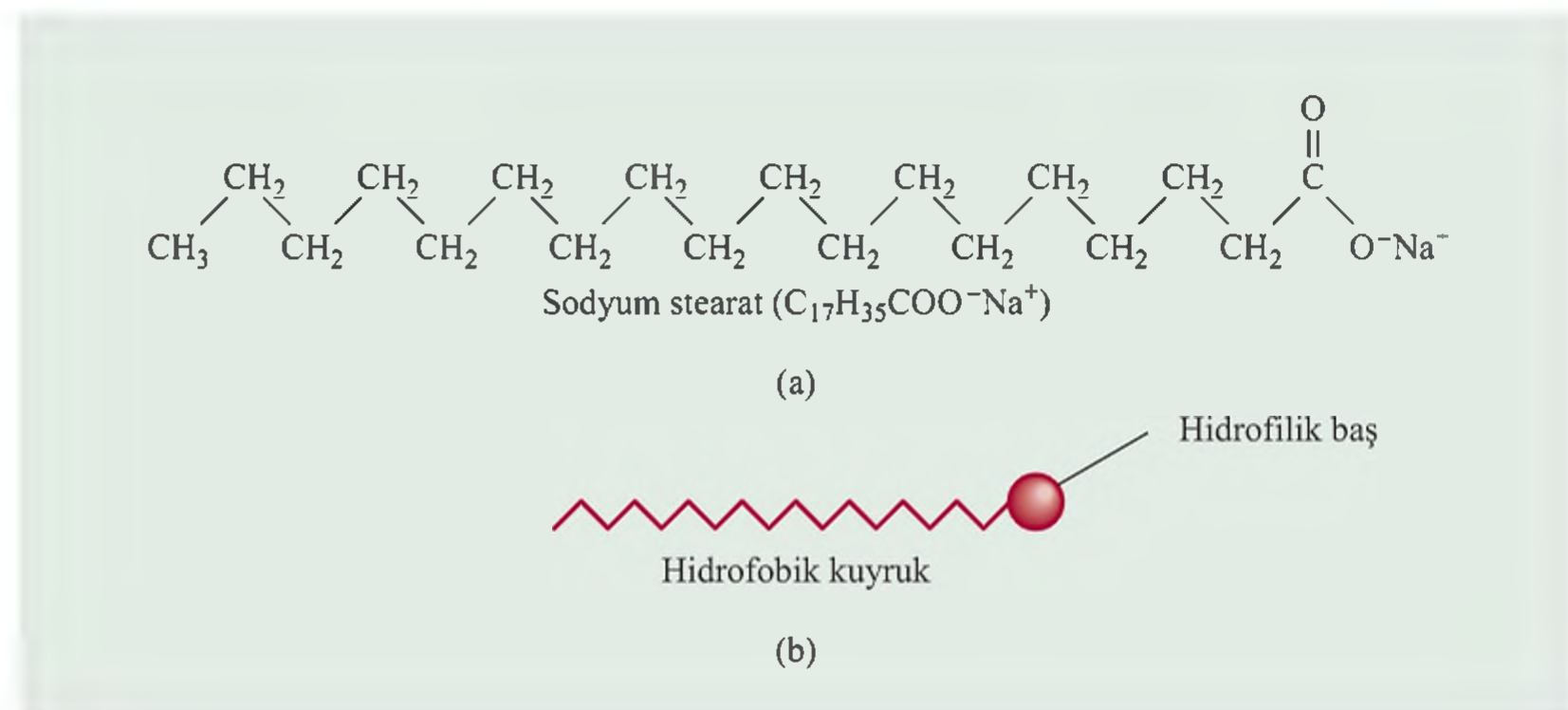
Şekil 12.17 Protein gibi büyük moleküllerin yüzeyindeki hidrofilik gruplar, suda molekülü kararlı hale getirir. Bütün bu grupların su ile hidrojen bağı oluşturabileceğini unutmayınız.



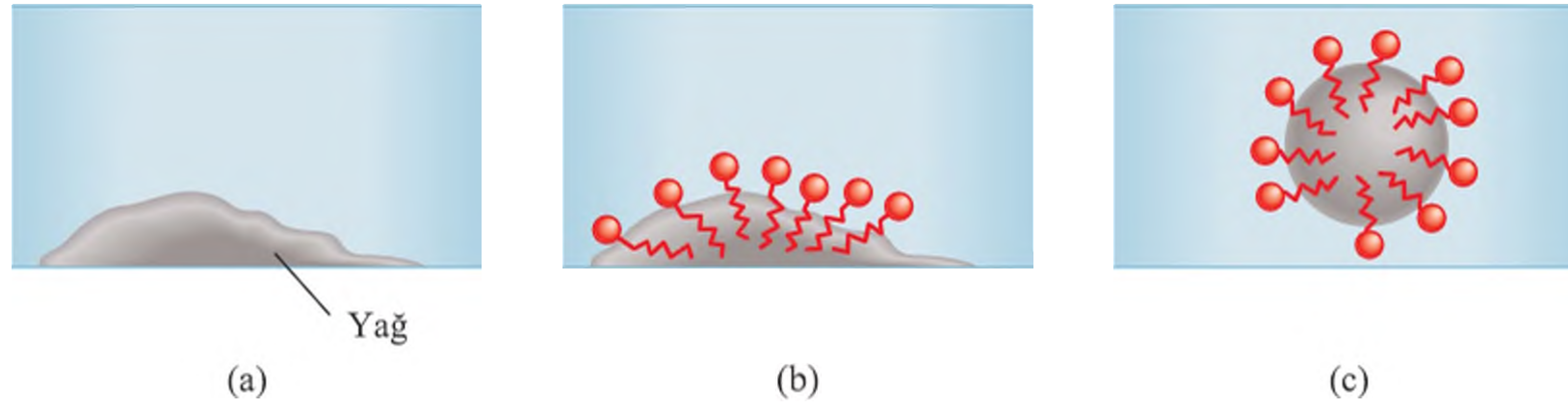
Şekil 12.18 Hidrofobik kolloitlerin kararlılığını gösteren diyagram. Negatif iyonlar yüzeyde adsorplanır ve benzer yükler arasındaki itme, taneciklerin bir araya gelmesini engeller.

Hidrofobik kolloit normalde suda kararlı değildir ve tanecikler, su yüzeyinde yağ damlalarının birleşerek bir film oluşturduğu gibi bir araya gelirler. Ancak, yüzeylerindeki iyonların adsorpsiyonu ile kararlı hale gelebilirler (Şekil 12.18). (Adsorpsiyon yüzeyde tutunmadır. Adsorpsiyon, absorpsiyondan farklı olup absorpsiyon içine alma yani soğurma demektir). Adsorplanmış iyonlar su ile etkileşebilir ve böylece kolloit kararlı hale gelir. Aynı zamanda, tanecikler arasındaki elektrostatik itme onların bir araya gelmelerini engeller. Nehir ve akarsulardaki toprak tanecikleri bu yolla kararlı hale gelmiş hidrofobik taneciklerdir. Bir tatlısu denize ulaştığında tanecikler üzerindeki yükler, yüksek tuz ortamı ile nötralize olurlar ve nehirlerin ağzında görülen alüvyonu oluşturmak üzere bir araya gelirler.

Hidrofobik kolloitlerin diğer bir yolla kararlı hale gelmesi, yüzeylerinde başka hidrofilik grupların bulunmasıyla mümkün olur. Sodyum stearatı ele alalım. Sabun moleküllü polar bir başa ve polar olmayan uzun bir hidrokarbon kuyruğa sahiptir (Şekil 12.19). Sabunun temizleme etkisi, hidrofobik kuyruk ve hidrofilik son grubunun ikili doğası sonucu gerçekleşir. İyonik $-\text{COO}^-$ grubu yağlı yüzey dışında kalırken polar olmayan hid-



Şekil 12.19 (a) Sodyum stearat molekülü. (b) Molekülün basitleştirilmiş hidrofilik baş ve hidrofobik kuyruk gösterimi.



Şekil 12.20 Sabunun temizleme etkisi. (a) Yağ suda çözünmez. (b) Suya sabun ilave edildiği zaman, sabun moleküllerinin polar olmayan kuyrukları yağ içerisinde çözünür. (c) Sonuçta, yağ bir emülsiyon şeklinde uzaklaştırılır. Her bir yağ damlasının hidrofilik olan iyonik dış kısma sahip olduğuna dikkat ediniz.

rokarbon kuyruk, yağın maddelerde kolayca çözünür. Yeterli sabun molekülleri Şekil 12.20'de gösterildiği gibi yağ damlacıkları ile sarıldığında, dış kısmın fazlasıyla hidrofilik olması nedeniyle tüm sistem suda çözünebilir hale gelir. Bu olay, yağın maddelerin sabun ile nasıl çıkarıldığını gösterir.

Anahtar Eşitlikler

kütlece yüzde	$= \frac{\text{çözünenin kütlesi}}{\text{çözeltinin kütlesi}} \times \%100$	(12.1)	Çözeltinin kütlece yüzdesinin hesaplanması.
molalite (m)	$= \frac{\text{çözünenin molü}}{\text{çözünenin kütlesi (kg)}}$	(12.2)	Çözeltinin molaritesinin hesaplanması.
$c = kP$		(12.3)	Gazların çözünürlüğünün hesaplanması için Henri yasası.
$P_1 = X_1P_1^\circ$		(12.4)	Çözeltideki bir sıvının buhar basıncını, saf haldeki buhar basıncına ilişkilendiren Raoult yasası.
$\Delta P = X_2P_1^\circ$		(12.5)	Çözeltinin derişimine göre buhar basıncı düşmesi.
$\Delta T_k = K_k m$		(12.6)	Kaynama noktası yükselmesi.
$\Delta T_d = K_d m$		(12.7)	Donma noktası alçalması.
$\pi = MRT$		(12.8)	Çözeltinin ozmotik basıncı.
$i = \frac{\text{ayrışmadan sonra çözeltideki taneciklerin gerçek sayısı}}{\text{başlangıçta çözeltide çözünmüş formül birimi sayısı}}$		(12.9)	Elektrolit çözeltinin van't Hoff faktörünün hesaplanması.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Çözeltiler iki veya daha fazla maddenin homojen karışımıdır ve katı, sıvı, gaz halinde olabilirler.
2. Bir çözücü içinde çözünenin çözünme kolaylığı moleküller arası kuvvetlere bağlıdır. Çözünmeyi sağlayan güç, çözücü ve çözünen moleküllerinin karışması sonucu düzensizlikteki artış ve enerji değişimidir.
3. Bir çözeltinin derişimi kütlece yüzde, mol kesri, molalite ve molalite şeklinde ifade edilebilir. Birimlerin seçimi koşullara bağlıdır.
4. Sıcaklığın artması genellikle katı ve sıvı maddelerin çözünürlüğünü artırır ve genellikle gazların sudaki çözünürlüğünü azaltır.
5. Henry yasası'na göre bir sıvı içindeki gazın çözünürlüğü, çözelti üzerindeki gazın kısmi basıncı ile doğru orantılıdır.
6. Raoult yasası, bir çözeltideki A maddesinin kısmi basıncının, A'nın mol kesrine (X_A) ve saf A'nın buhar basıncına (P_A°) bağlı olduğunu ifade eder. İdeal bir çözelti

bütün derişimlerde Raoult yasası'na uyar. Uygulamada ise çok az çözelti ideal davranış gösterir.

7. Çözeltilerin kolligatif özellikleri olan buhar basıncı düşmesi, kaynama noktası yükselmesi, donma noktası alçalması ve ozmotik basınç, yalnızca çözünen taneciklerinin sayısına bağlı olan, tabiatına bağlı olmayan özelliklerdir.
8. Elektrolit çözeltilerde iyonlar arasındaki etkileşimler iyon çifti oluşumuna neden olur. van't Hoff faktörü.

elektrolitlerin çözeltide ne kadar ayrıştığını tayin etmeye olanak sağlar.

9. Kolloit, yaklaşık 1×10^3 pm ile 1×10^6 pm arasında madde taneciklerinin diğer bir madde içerisinde dağılımıdır. Kolloit, Tyndall etkisi(kolloidal parçacıklar tarafından görünür ışığın saçılması) ile normal bir çözeltiden ayırt edilir. Sudaki kollitler, hidrofilik kolloitler ve hidrofobik kolloitler olarak sınıflandırılır.

Anahtar Kelimeler

Aşırı doymuş çözelti, s. 521	Doymuş çözelti, s. 521	Kaynama noktası yükselmesi (ΔT_k), s. 538	Ozmos, s. 541
Ayrımsal damıtma, s. 537	Henry yasası, s. 531	Kolligatif özellikler, s. 534	Ozmotik basınç (π), s. 541
Ayrımsal kristallenme, s. 529	Hidrofilik, s. 549	Kolloit, s. 548	Raoult yasası, s. 534
Çözünme, s. 523	Hidrofobik, s. 549	Kristallenme, s. 521	Uçucu olmayan, s. 534
Donma noktası alçalması (ΔT_d), s. 539	İdeal çözelti, s. 536	Kütlece yüzde, s. 524	Uçuculuk, s. 535
Doymamış çözelti, s. 521	İyon çifti, s. 546	Molalite, s. 525	van't Hoff faktörü (i), s. 546
	Karışabilir, s. 523		Yarıgeçirgen zar, s. 541

Sorular ve Problemler

Çözelti Türleri

Tarama Soruları

- 12.1 Doymuş, doymamış ve aşırı doymuş çözelti arasındaki farklılıkları belirtiniz.
- 12.2 Soru 12.1'de belirtilen çözelti türlerinden hangisinde kristallenme ve çökme meydana gelir? Bir kristallenmenin çökmeden farkı nedir?

Çözelti Oluşumuna Moleküler Bakış

Tarama Soruları

- 12.3 Çözelti oluşumunu molekül düzeyinde kısaca açıklayınız. Örnek olarak bir sıvı içinde bir katının çözünmesini gözönüne alınız.
- 12.4 Moleküller arası kuvvetleri göz önüne alarak, "benzer benzeri çözer" in ne anlama geldiğini açıklayınız.
- 12.5 Çözünme nedir? Çözünmeye etki eden faktörler nelerdir? Çözünmeye, birinde iyon-dipol etkileşimi ve diğerinde dağılma kuvvetlerinin rol oynadığı iki örnek veriniz.
- 12.6 Bazı çözelti oluşumları endotermik, bazıları ekzotermiktir. Neden?
- 12.7 Çözelti oluşumlarında daima düzensizliğin artma nedenini açıklayınız.

- 12.8 Bir katının bir sıvı içindeki çözünürlüğüne etki eden faktörleri açıklayınız. İki sıvının karışabilir olması ne anlama gelir?

Problemler

- 12.9 Neden naftalin ($C_{10}H_8$) benzen içinde CsF'den daha iyi çözünür?
- 12.10 Etanolün (C_2H_5OH) sikloheksanda (C_6H_{12}) neden çözünmediğini açıklayınız.
- 12.11 Aşağıdaki bileşikler su içindeki artan çözünürlük sırasına göre düzenleyiniz: O_2 , $LiCl$, Br_2 , CH_3OH (metanol).
- 12.12 Aşağıdaki çizelgede verilen alkollerin su içindeki çözünürlükleri niçin farklıdır?

Bileşik	Sudaki Çözünürlük (g/100 g) 20°C'de
CH_3OH	∞
CH_3CH_2OH	∞
$CH_3CH_2CH_2OH$	∞
$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	9
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$	2.7

(Not: ∞ işareti, bu alkol ve su her oranda tamamen karışabilir anlamındadır.)

Derişim Birimleri**Tarama Soruları**

- 12.13 Aşağıdaki derişim terimlerini tanımlayınız ve birimlerini yazınız: kütlece yüzde, molarite, molalite. Bu birimlerin avantaj ve dezavantajlarını belirtiniz.
- 12.14 Molarite, molalite ve kütlece yüzde arasındaki dönüştürmeler için gereken basamakları basitçe belirtiniz.

Problemler

- 12.15 Aşağıdaki çözeltilerin her birinde çözünenin kütlece yüzdesini hesaplayınız: (a) 78.2 g çözelti içinde 5.50 g NaBr, (b) 152 g su içinde 31.0 g KCl, (c) 29 g benzen içinde 4.5 g toluen.
- 12.16** Aşağıdaki kütlece yüzde olarak verilen çözeltileri hazırlamak için eklenmesi gereken su miktarını (g cinsinden) hesaplayınız: (a) 5.00 g üre $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ içeren %16,2'lik çözelti, (b) 26,2 g MgCl_2 içeren %1,5'lik çözelti.
- 12.17 Aşağıdaki çözeltilerin molalitesini hesaplayınız: (a) 676 g suda 14,3 g sakkaroz ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), (b) 3546 g suda 7,2 mol etilen glikol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$).
- 12.18** Aşağıdaki sulu çözeltilerin her birinin molalitesini hesaplayınız: (a) 2,50 M NaCl çözeltisi (çözeltinin yoğunluğu = 1,08 g/mL), (b) kütlece % 48,2'lik KBr çözeltisi.
- 12.19 Aşağıdaki sulu çözeltilerin molalitelerini hesaplayınız: (a) 1,22 M şeker ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) çözeltisi (çözeltinin yoğunluğu = 1,12 g/mL), (b) 0,87 M NaOH çözeltisi (çözeltinin yoğunluğu = 1,04 g/mL), (c) 5,24 M NaHCO_3 çözeltisi (çözeltinin yoğunluğu = 1,19 g/mL).
- 12.20** Çözelti yoğunluğunun saf çözücüsünün yoğunluğuna yaklaşık olarak eşit olduğu seyreltik sulu çözeltilerde, çözeltinin molaritesi molalitesine eşittir. Bu durumun doğru olduğunu 0,010 M üre $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ çözeltisi için gösteriniz.
- 12.21 Sert likörün alkol içeriği normalde, içindeki etanolün ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) hacimce yüzdesinin iki katı anlamına gelen "proof" ile verilir. "75 proof" cinin (bir içki) 1 L'sinde bulunan alkolün miktarını gram cisminden hesaplayınız. Etanolün yoğunluğu 0,798 g/mL'dir.
- 12.22** Laboratuvarıda kullandığımız derişik sülfürik asit (H_2SO_4) kütlece %98'lidir. Asit çözeltisinin molaritesini ve molalitesini hesaplayınız. Çözeltinin yoğunluğu 1,83 g/mL'dir.
- 12.23 70,0 g su içinde 30 g NH_3 içeren bir çözeltide NH_3 molaritesini ve molalitesini hesaplayınız. Çözeltinin yoğunluğu 0,982 g/mL'dir.

- 12.24** Kütlece %10 etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) içeren bir sulu çözeltinin yoğunluğu 0,984 g/mL'dir. (a) Bu çözeltinin molalitesini hesaplayınız. (b) Çözeltinin molaritesini hesaplayınız. (c) 0,125 mol etanol içeren çözeltinin hacmi ne olmalıdır?

Çözünürlüğe Sıcaklık ve Basıncın Etkisi**Tarama Soruları**

- 12.25 Genel olarak iyonik bileşiklerin sudaki çözünürlükleri sıcaklık ve basınçla nasıl değişir?
- 12.26 Ayrımsal kristallenme işlemi ve uygulamasını açıklayınız.

Problemler

- 12.27 3,20 gramlık bir tuz örneği 9,10 gram suda çözül-
düğünde, 25°C'da doymuş bir çözelti elde ediliyor. Bu tuzun çözünürlüğü (gram tuz/100 g su) nedir?
- 12.28** KNO_3 'ün çözünürlüğü 75°C'da 155 g/100 g su ve 25°C'da 38,0 g/100 g sudur. Eğer KNO_3 'ün 75°C'daki 100 g doymuş çözeltisi 25°C'a soğutulursa, çökecek olan KNO_3 'ün kütlesi (gram cinsinden) nedir?
- 12.29 Saf olmayan 50 g KClO_3 (20 °C'de sudaki çözünürlüğü = 7,1 g/100 g H_2O) %10 KCl (20 °C'de sudaki çözünürlüğü = 25,5 g/100 g H_2O) içermektedir. 20 °C'de numune içerisindeki bütün KCl'i çözmek için gerekli en az su miktarını hesaplayınız. Bu işlem sonrası ne kadar KClO_3 kalacaktır? (Çözünürlüklerin ortamda bulunan diğer bileşiklerden etkilenmediğini kabul ediniz.)

Gaz Çözünürlüğü**Tarama Soruları**

- 12.30 Bir gazın bir sıvı içindeki çözünürlüğüne etki eden faktörleri tartışınız.
- 12.31 Isıl kirlenme nedir? Isıl kirlenme sudaki yaşam için neden zararlıdır?
- 12.32 Henry yasası nedir? Eşitlikteki her bir terimi tanımlayınız ve birimlerini veriniz. Henry Yasası'nı gazların kinetik moleköl kuramına göre açıklayınız. Henry yasası'nın geçersiz olduğu iki örnek veriniz.
- 12.33 Bir öğrenci iki ayrı beherde bulunan suyu inceliyor. Beherlerden birisi 30°C'a, diğeri 100°C'a ısıtılıyor. Her iki beherde de suda kabarcıklar oluşuyor. Bu kabarcıklarının kaynağı aynı mıdır? Açıklayınız.
- 12.34 Bir adam evcil hayvan satan bir dükkandan bir akvaryum balığı alıyor. Eve döndüğünde balığı, içinde kısa bir süre önce kaynatılmış ve çabuk soğutulmuş suyun bulunduğu bir akvaryuma koyuyor. Birkaç dakika sonra balık ölüyor. Balığın neden öldüğünü açıklayınız.

Problemler

- 12.35 Bir kap su başlangıçta, çözünmüş hava ile doyuruluyor. Çözelti içinden uzun bir süre 1 atm'de He gazı geçirildiğinde ne olur. açıklayınız.
- 12.36** Deniz seviyesinden 260 m aşağıda çalışan bir maden işçisi, öğle yemeği paydosunda alkolstüz gazlı bir içecek açıyor ve içeceğin oldukça tatsız olduğunu şirpriziyle karşılaşıyor. Kısa bir süre sonra maden işçisi asansörle yüzeye çıkıyor. Yukarıya çıkış esnasında durmaksızın geçiriyor. Neden?
- 12.37 25°C ve 1 atm'de CO₂'nin sudaki çözünürlüğü 0.034 mol/L'dir. CO₂'nin atmosfer koşulları altında çözünürlüğü nedir? (CO₂'nin hava içindeki kısmi basıncı 0.0003 atm'dir.) CO₂'nin Henry yasası'na uyduğunu kabul ediniz.
- 12.38** 37°C ve 0.80 atm kısmi basınçta N₂'nin kandaki çözünürlüğü $5,6 \times 10^{-4}$ mol/L'dir. Bir derin deniz dalgıcı, N₂'nin kısmi basıncının 4 atm'e eşit olduğunu sıkıştırılmış havayı teneffüs etmektedir. Vücuttaki kanın toplam hacminin 5,0 L olduğunu kabul ederek, dalgıç N₂'un kısmi basıncının 0.80 atm olduğunu suyun yüzeyine döndüğü zaman, serbest kalan N₂ gazının miktarını (litre cinsinden) hesaplayınız.

**Elektrolit Olmayan Çözeltilerin
Kolligatif Özellikleri**
Tarama Soruları

- 12.39 Kolligatif özellikler nelerdir? Bu bölümdeki "kolligatif" sözcüğünün anlamı nedir?
- 12.40 Rault yasası'nı temsil eden eşitliği yazınız ve bir cümle ile ifade ediniz.
- 12.41 Benzenin toluendeki çözeltisini kullanarak ideal çözeltisinin ne anlama geldiğini açıklayınız.
- 12.42 Kaynama noktası yükselmesi ve donma noktası alçalmasını çözeltinin derişimine bağlayan eşitliği yazınız. Terimleri tanımlayınız ve birimlerini veriniz.
- 12.43 Buhar basıncı düşmesi bir çözeltinin kaynama noktası yükselmesiyle nasıl ilişkilidir?
- 12.44 Saf su ve bir tıre-su çözeltisi arasındaki donma noktası ve kaynama noktası farkını gösteren bir faz diyagramı çizin.
- 12.45 Ozmos nedir? Yarı geçirgen zar nedir?
- 12.46 Ozmotik basıncı çözelti derişimine bağlayan eşitliği yazınız. Terimlerin hepsini tanımlayınız ve birimlerini veriniz.
- 12.47 Kaynama noktası yükselmesi ve donma noktası alçalması hesaplamalarında molalite derişim birimi kullanılırken, ozmotik basınç hesaplamalarında molarite kullanılmasının nedenini açıklayınız.
- 12.48 Bir bileşiğin mol kütle sinin belirlenmesinde donma noktası alçalması ve ozmotik basınç ölçümlerinin nasıl kullanılacağını açıklayınız. Neden kaynama noktası yükselmesi ve buhar basıncı düşmesi normal olarak bu amaç için kullanılmaz?

Problemler

- 12.49 624 g su içinde 396 g sakkarozun çözülmesiyle (C₁₂H₂₂O₁₁) bir çözelti hazırlanmıştır. 30°C'da bu çözeltinin buhar basıncı nedir? (30°C'da suyun buhar basıncı 31.8 mmHg'dır.)
- 12.50** 20°C'da, saf suyun buhar basıncından 2.0 mmHg daha düşük buhar basınçlı bir çözelti elde etmek için 552 g suya kaç gram sakkaroz (C₁₂H₂₂O₁₁) eklenmelidir? (20°C'da suyun buhar basıncı 17,5 mmHg'dır.)
- 12.51 26,1°C'da benzenin buhar basıncı 100.0 mmHg'dır. 98.5 g benzen içinde çözölmüş 24,6 g kafur (C₁₀H₁₆O) içeren çözeltinin buhar basıncını hesaplayınız. (Kafur uçuculuğu düşük bir katıdır.)
- 12.52** 35°C'da etanolün (C₂H₅OH) ve 1-propanolün (C₃H₇OH) buhar basınçları sırasıyla 100 ve 37,6 mmHg'dır. Bu iki maddeden hazırlanan çözeltinin ideal davranış gösterdiğini ve etanolün mol kesrini 0,300 kabul ederek çözelti üzerindeki 1-propanol ve etanolün kısmi basınçlarını hesaplayınız.
- 12.53 20°C'da etanolün (C₂H₅OH) buhar basıncı 44 mmHg ve metanolün (CH₃OH) buhar basıncı 94 mmHg'dır. 30.0 g metanol ve 45,0 g etonolden bir karışım hazırlanmıştır (ideal bir çözelti gibi davrandığı kabul edilebilir.). (a) 20°C'da bu çözelti üzerindeki etanol ve metanolün buhar basınçlarını hesaplayınız. (b) 20°C'da bu çözelti üzerindeki buharda etanol ve metanolün mol kesirlerini hesaplayınız (c) Çözeltinin iki bileşenini ayırmak için bir yöntem öneriniz.
- 12.54** 30°C'da saf suyun buhar basıncından 2,50 mmHg daha düşük buhar basınçlı bir çözelti elde etmek için 450 g suya kaç gram tıre [(NH₂)₂CO] eklenmelidir? (30°C'da suyun buhar basıncı 31,8 mmHg'dır.)
- 12.55 Naftalinin, benzende hazırlanan 2,47 m çözeltisinin kaynama noktası ve donma noktası nedir? (Benzenin kaynama noktası ve donma noktası, sırasıyla 80,1°C ve 5,50°C'dır.)
- 12.56** Bir sulu çözelti glisin amino asidini (NH₂CH₂COOH) içermektedir. Asidin iyonlaşmadığını kabul ederek, çözelti -1,1°C'da donuyorsa çözeltinin molalitesi nedir?
- 12.57 Feromonlar birçok böcek türünün dişisi tarafından erkeklerini cezbetmek için salgılanan bileşiklerdir. Bu bileşiklerden biri %80,78 C, %13,56 H ve %5,66 O içermektedir. 8,50 g benzen içinde bu feromonun 1,00 gramının çözölmesiyle oluşan çözelti 3,37°C'da donmaktadır. Bileşiğin mol kütle si ve molekül formülü nedir? (Saf benzenin normal donma noktası 5,50°C'dır.)

- 12.58** Sakız ağacından özütlenen organik bir katının element analizi, %40,0 C, %6,7 H ve %53,3 O içerdiğini göstermektedir. 2.78 g difenil çözücüsünde bu katının 0,650 gramının çözünmesiyle oluşan çözelti 1,56°C'lık bir donma noktası alçalmasına neden olmaktadır. Katının mol kütlesi ve molekül formülünü hesaplayınız. (Difenil için $K_d = 8,00^\circ\text{C}/m$ 'dir.)
- 12.59 Yaşadığımız yerdeki en soğuk kış sıcaklığı -20°C ise, 6.50 L su içeren bir araba radyatörüne etilen glikol $[\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})]$ antifirizinden kaç litre eklemelisiniz? Bu su-etilen glikol karışımının kaynama noktasını hesaplayınız. Etilen glikolün yoğunluğu 1,11 g/mL'dir.
- 12.60** 27°C ve 748 mmHg basınçta bir gazın hacmi 4 L'dir. Bu gazın 58,0 g benzen içinde yoğunlaştırılmasıyla bir çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltinin donma noktasını hesaplayınız.
- 12.61 Benzen içinde benzoik asit ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) çözülerek donma noktası alçalması yöntemiyle mol kütlesi belirlenmiş ve bulunan değer benzoik asit ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$) molekül formülü için beklenenin iki katı çıkmıştır. Görülen bu anormal durumu açıklayınız.
- 12.62** Kaba formülü $\text{C}_6\text{H}_5\text{P}$ olan bir bileşiğin 2,50 gramının 25,0 g benzen içinde oluşturduğu çözeltinin $4,3^\circ\text{C}$ 'da donduğu gözlenmiştir. Çözünen maddenin mol kütlesini ve molekül formülünü bulunuz.
- 12.63 1,36 M sulu üre çözeltisinin $22,0^\circ\text{C}$ 'da osmotik basıncı (atmosfer cinsinden) nedir? $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$
- 12.64** Yapısı bilinmeyen 0,8330 g polimerin 170,0 mL organik çözücüde bir çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltinin 25°C 'da 5,20 mmHg ozmotik basınca sahip olduğu bulunmuştur. Polimerin mol kütlesini hesaplayınız.
- 12.65 Organik bir bileşiğin 7,480 gramı suda çözülerek 300,0 mL bir çözelti elde edilmiştir. Çözeltinin 27°C 'da osmotik basıncı 1,43 atm'dir. Bu bileşiğin analizi, % 41,8 C, % 4,7 H, % 37,3 O ve % 16,3 N içerdiğini göstermektedir. Organik bileşiğin molekül formülünü bulunuz.
- 12.66** 6,85 g karbonhidratın 100,0 g suda çözülmesiyle elde edilen bir çözeltinin yoğunluğu $20,0^\circ\text{C}$ 'da 1,024 g/mL ve osmotik basıncı 4,61 atm'dir. Karbonhidratın mol kütlesini hesaplayınız.

Elektrolit Çözeltilerin Kolligatif Özellikleri

Tarama Soruları

- 12.67 İyon çifti nedir? İyon çifti oluşumunun bir çözeltinin kolligatif özelliklerine etkisi nedir? İyon çifti oluşma kolaylığı; (a) iyonların yüküne, (b) iyonların büyüklüğüne, (c) çözücünün yapısına (polar veya apolar), (d) derişime nasıl bağlıdır?

- 12.68 van't Hoff faktörü nedir? Bu faktör nereden kaynaklanır?

Problemler

- 12.69 Aşağıda verilen iki sulu çözeltiden hangisi (a) daha yüksek kaynama noktasına, (b) daha yüksek donma noktasına ve (c) daha düşük buhar basıncına sahiptir: 0,35 m CaCl_2 ve 0,90 m üre? Açıklayınız. CaCl_2 'ün tamamen çözündüğünü varsayınız.
- 12.70** Her ikisi de $-1,5^\circ\text{C}$ 'da donan sakkaroz ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) ve nitrik asit (HNO_3) sulu çözeltilerini dikkate alınız. Bu iki çözeltinin sahip olduğu diğer ortak özellikler nelerdir?
- 12.71 Aşağıdaki çözeltileri azalan donma noktalarına göre sıralayınız: (a) 0,10 m Na_3PO_4 , (b) 0,35 m NaCl , (c) 0,20 m MgCl_2 , (d) 0,15 m $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, (e) 0,15 m CH_3COOH .
- 12.72** Aşağıdaki çözeltileri azalan donma noktalarına göre sıralayınız ve nedenlerinizi açıklayınız: (a) 0,50 m HCl , (b) 0,50 m glukoz, (c) 0,50 m asetik asit.
- 12.73 Aşağıdaki çözeltilerin normal donma noktaları ve kaynama noktaları nedir? (a) 135 mL suda 21,2 g NaCl , (b) 66,7 mL suda 15,4 g üre.
- 12.74** 25°C 'da saf suyun buhar basıncı 23,76 mmHg ve deniz suyunun buhar basıncı 22,98 mmHg'dir. Deniz suyunun sadece NaCl içerdiğini kabul ederek, NaCl derişimini molalite cinsinden hesaplayınız?
- 12.75 NaCl ve CaCl_2 'nin her ikisi de kışın yollardaki buzı eritmek için kullanılır. Suyun donma noktasını düşürmede bu maddelerin üre veya sakkarozla göre sahip olduğu üstünlükler nelerdir?
- 12.76** Kütlece %0,86'lık NaCl çözeltisinin osmotik basıncı kan hücrelerindeki çözeltinin osmotik basıncına eşit olduğundan, bu çözelti "fizyolojik serum" olarak adlandırılır. Normal vücut sıcaklığında (37°C) bu çözeltinin osmotik basıncını hesaplayınız. Tuzlu su çözeltisinin yoğunluğunu 1,005 g/mL olarak alınız.
- 12.77 CaCl_2 ve ürenin 0,010 M'lık çözeltilerinin 25°C 'daki osmotik basınçları sırasıyla: 0,605 ve 0,245 atm'dir. CaCl_2 çözeltisi için van't Hoff faktörünü hesaplayınız.
- 12.78** 0,0500 M MgSO_4 çözeltisinin 22°C 'daki osmotik basıncını hesaplayınız. (İpucu: Bak. Çizelge 12.3)

Kolloidler

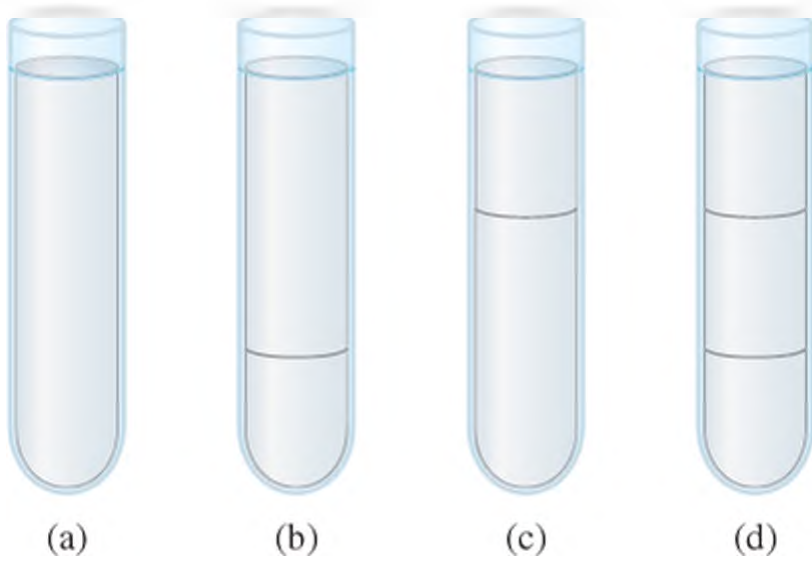
Tarama Soruları

- 12.79 Kolloit nedir? Çizelge 12.4'den yararlanarak, dağılan faz ve dağıtıcı ortamının her ikisi de gaz olduğunda niçin kolloit yoktur?
- 12.80 Hidrofilik ve hidrofobik kolloitler su ortamında nasıl kararlı haldedir, açıklayınız.

Ek Problemler

12.81 A ve B çözeltilerinin ikisi de farklı derişimlerde türe içermektedir. Havaya maruz bırakıldığında, B'nin buhar basıncı kademeli olarak azalırken A'nın buhar basıncı sabit kalmaktadır. a) Hangi çözelti yüksek kaynama noktasına sahiptir? b) Sonuçta iki çözeltide aynı buhar basıncına sahip olur. Açıklayınız.

12.82 Su ve metanol birbirini içerisinde karışabilmekte, fakat oktan (C_8H_{18}) ile karışamamaktadırlar. $20^\circ C$ 'de bir deney tüpü içerisinde eşit hacimlerde bu üç sıvı karıştırıldığı zaman, aşağıdaki şekillerden hangisi doğru resimdir? Hacimlerin eklenebilir olduğunu varsayınız. (Sıvıların yoğunlukları, metanol: 0.792 g/mL ; oktan: 0.703 g/mL ; su: 0.998 g/mL .)



12.83 Lizozim, bakteri hücre duvarını parçalayan bir enzimdir. Mol kütlesi 13930 g/mol olan bir lizozim örneği tavuk yumurtasından özetlenmiştir. Bu enzimin 0.100 gramı $25^\circ C$ 'da 150 g suda çözölmüştür. Bu çözeltinin buhar basıncı düşmesini, donma noktası alçalmasını, kaynama noktası yükselmesini ve osmotik basıncını hesaplayınız. ($25^\circ C$ 'da suyun buhar basıncı = 23.76 mmHg 'dır.)

12.84 A ve B çözeltilerinin belirli bir sıcaklıkta osmotik basınçları sırasıyla 2.4 ve 4.6 atm 'dir. Aynı sıcaklıkta A ve B'nin eşit hacimlerinin karıştırılmasıyla hazırlanan bir çözeltinin osmotik basıncı nedir?

12.85 Salatalık, derişik tuzlu suya(salamura suyu) konulduğunda buruşur. Nedenini açıklayınız.

12.86 $25^\circ C$ 'da A ve B sıvıları, sırasıyla 76 ve 132 mmHg buhar basıncına sahiptir. (a) 1.00 mol A ve 1.00 mol B. (b) 2.00 mol A ve 5.00 mol B ile hazırlanan ideal çözeltilerin toplam buhar basınçları nedir?

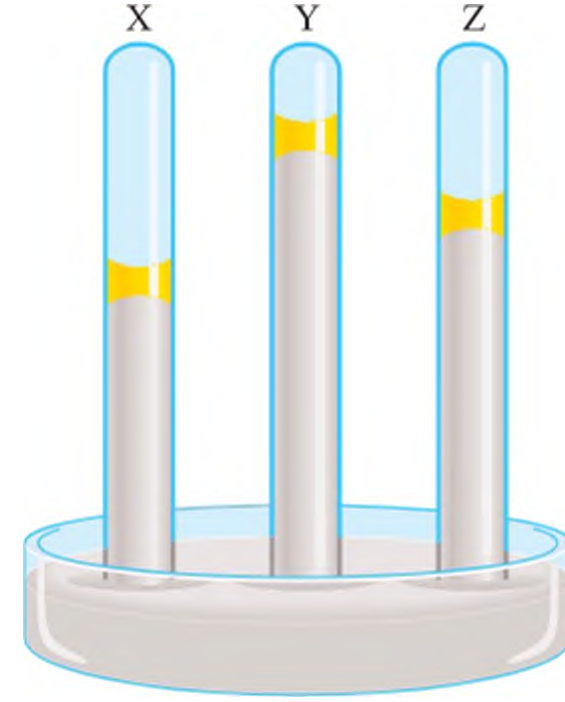
12.87 Donma noktası $-2.6^\circ C$ olan 0.40 m Na_3PO_4 sulu çözeltisinin van't Hoff faktörünü hesaplayınız.

12.88 1.22 g şeker içeren 262 mL şeker çözeltisi $35^\circ C$ 'de 30.3 mmHg osmotik basınca sahiptir. Şekerin mol kütlesi nedir?

12.89 0.10 M monoprotik asitin, HA, sulu çözeltisinin $25^\circ C$ 'de osmotik basıncı 3.22 atm 'dir. Bu derişimde asitin yüzde iyonlaşması nedir?

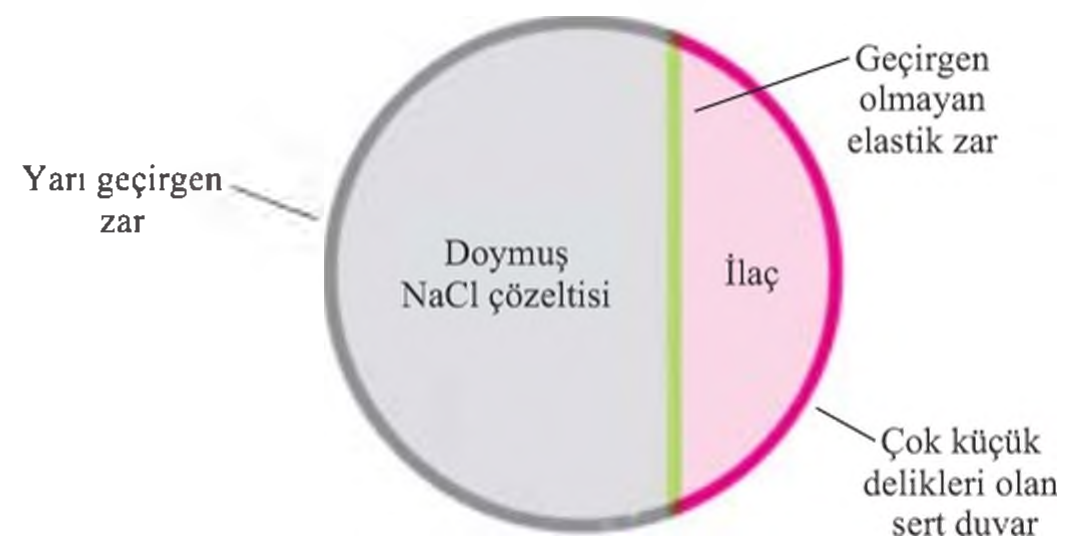
12.90 Saf benzenin donma noktasının $2.00^\circ C$ altında donma noktasına sahip bir çözelti elde etmek için 250 g benzene (C_6H_6) ilave edilecek naftalinin kütlesini ($C_{10}H_8$) hesaplayınız.

12.91 Aşağıdaki üç cıva manometresini gözönüne alınız: Manometrelerden birinde cıva üzerinde 1 mL su, diğerinde 1 mL 1 m türe çözeltisi ve üçüncüsün de 1 mL 1 m NaCl çözeltisi vardır. X, Y ve Z ile gösterilen bu çözeltilerin hangileri olduğunu belirtiniz?



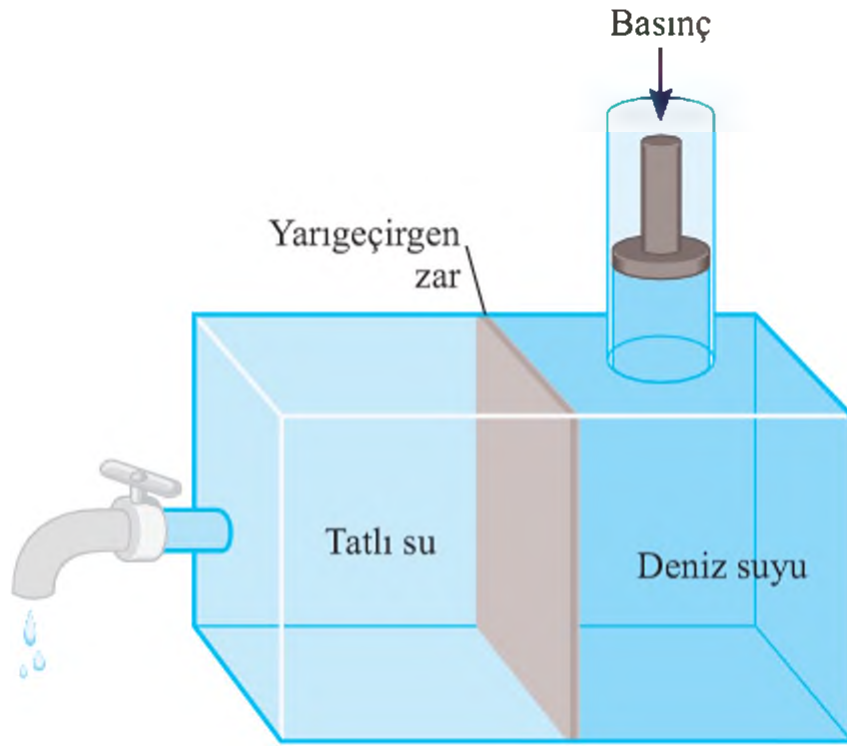
12.92 Bir kimyacıya analiz etmesi için beyaz bir toz verilmiştir. Kimyacı maddenin 0.50 gramını 8.0 g benzende çözmüştür. Çözelti $3.9^\circ C$ 'da donmaktadır. Kimyacı bu bileşimin kokain ($C_{17}H_{21}NO_4$) olduğuna karar verebilir mi? Analizde yapılan varsayımlar nelerdir?

12.93 İlaçların kontrollü salımı, hem vücuda aşırı ilaç verilmesini, hem de gereğinden az ilaç verilmesini önler. Yani bu yol ile ilaç vücuda sabit hızla gerektiği kadar verilir. Böyle çalışan bir ilacın şeması aşağıdadır. Sistemin nasıl çalıştığını açıklayınız.



12.94 50 g suda 1 g susuz alüminyum klorür($AlCl_3$) bulunduran bir çözelti $-1.11^\circ C$ 'de donmaktadır. Bu donma noktasından tayin edilen mol kütlesi, formülden hesaplanan mol kütlesi ile uyuyor mu? Neden?

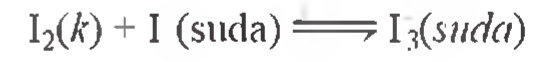
- 12.95 Desalinasyon(tuzdan arındırma) deniz suyundan çözünmüş tuzları uzaklaştıran bir işlemdir. (a) Bu amaçla damıtma ve dondurma yöntemlerini nasıl uygulayabilirsiniz? (b) Desalinasyon ters ozmos ile de gerçekleştirilebilir. Ters ozmosda suyu, derişimi yüksek çözeltiden daha düşük derişimli çözeltiye geçirmek için yüksek basınç uygulanır. Deniz suyu numunesinin 0.50 M NaCl içerdiğini varsayınız ve 25°C 'de ters ozmos için uygulanması gereken minimum basıncı hesaplayınız. Ters ozmosun, damıtma ve dondurma yöntemlerine göre başlıca avantajı nedir?



- 12.96 Balık, solungaçları sayesinde su içerisinde çözünmüş havayı teneffüs etmektedir. Havada oksijen ve azotun kısmi basınçlarının sırasıyla 0.2 atm ve 0.8 atm olduğunu kabul ederek, 298 K 'de suda oksijen ve azotun mol kesirlerini hesaplayınız. Sonuçları yorumlayınız. Henry yasası sabiti için Örnek 12.6'ya bakınız.
- 12.97 Bir protein Na_{20}P (bu gösterim, negatif yüklü protein, P^{20-} , ile 20 Na^+ iyonlarının birarada olduğu anlamına gelir) formüllü bir tuz halinde izole edilmiştir. 0.225 g protein içeren 10.0 mL çözeltinin 25.0°C 'daki osmotik basıncı 0.257 atm 'dir. a) Bu verilerden proteinin mol kütleini hesaplayınız b) proteinin gerçek mol kütleini hesaplayınız.
- 12.98 Uçucu olmayan bir organik bileşik (Z) ile iki çözelti hazırlanmıştır. A çözeltisi 100 g suda çözünmüş 5.00 g Z ve B çözeltisi 100 g benzende çözünmüş 2.31 g Z içermektedir. A çözeltisi suyun normal kaynama noktasında 754.5 mmHg buhar basıncına, B çözeltisi benzenin normal kaynama noktasında aynı buhar basıncına sahiptir. A ve B çözeltilerinde Z'nin mol kütleini hesaplayınız ve neden sonuçların farklı çıktığını açıklayınız.
- 12.99 Eczanelerde $\%3.0$ 'lük hidrojen peroksit (çözeltinin 100 mL 'si içinde $3\text{ g H}_2\text{O}_2$) antiseptik olarak satılır. 10.0 mL $\%3.0$ 'lük H_2O_2 çözeltisi için: (a) bileşiğin tamamı bozunmaya uğradığında, standart sıcaklık ve basınçta (STP) üretilen oksijen gazının hacmini (litre cinsinden) ve (b) toplanan oksijenin hacminin

H_2O_2 çözeltisinin başlangıç hacmine oranını hesaplayınız.

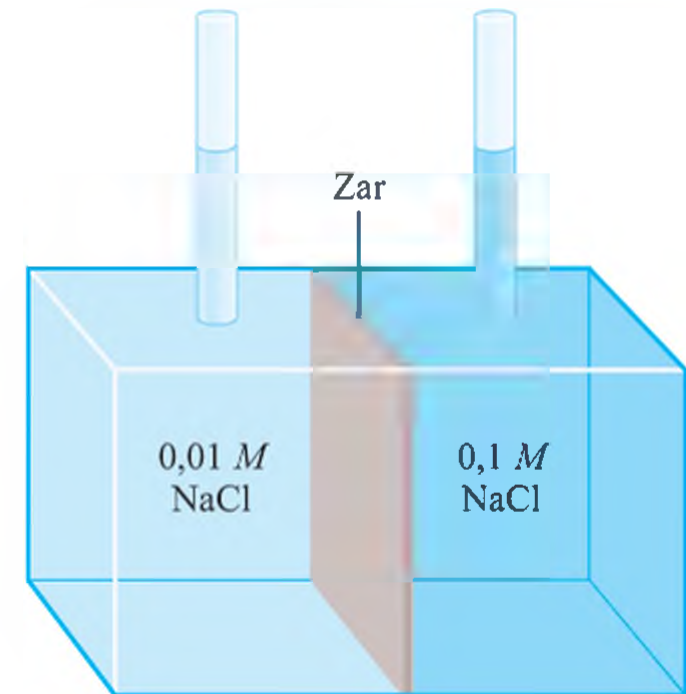
- 12.100 Problem 12.12'de verilen alkollerin hangisinin, aşağıda verilen a, b ve c seçeneklerindeki maddelerin hangisi için en iyi çözücü olmasını beklersiniz. Neden? Açıklayınız. (a) I_2 , (b) KBr , (c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$.
- 12.101 Gazlı içecek şişelerine kapak kapatılmadan önce, basınçlı hava ve karbon dioksit basılır. (a) Şişenin kapağı açıldığı zaman meydana gelen köpürmeyi açıklayınız. (b) Kapak açıldıktan hemen sonra şişenin ağzında duman oluşmasının sebebi nedir?
- 12.102 İyot (I_2) suda belirli bir oranda çok az çözünmektedir (sol resim). Ancak bu çözeltiye iyodür iyonlarının ilavesiyle (örneğin, KI), iyot kolayca çözünebilen triiyodür iyonuna dönüşmektedir (sağ resim):



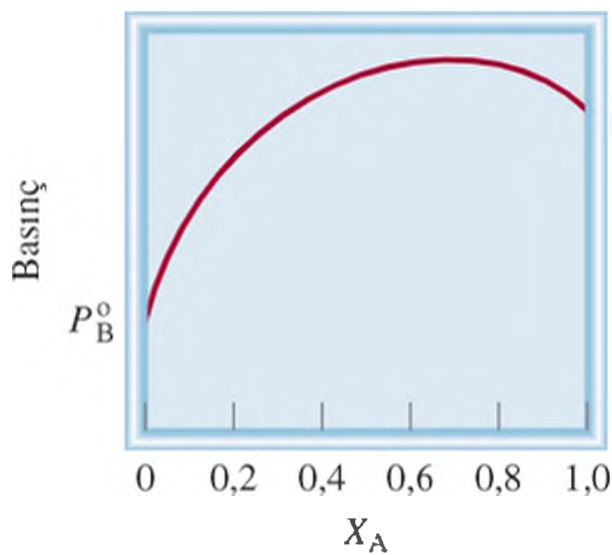
Moleküler arası kuvvetlerdeki değişime göre, I_2 'nin çözünürlüğündeki bu değişimi açıklayınız.



- 12.103 Birinde 1.0 M sulu glukoz çözeltisinden 50 mL ve diğerinde 2.0 M sulu glukoz çözeltisinden 50 mL içeren iki beher oda sıcaklığında cam bir kaba yerleştirilmiş ve kap sıkıca kapatılmıştır. Dengeye bu iki beherdeki hacimler ne olur?
- 12.104 Aşağıda verilen düzenekte, belirtilen şu durumlara göre nasıl bir değişim gözlenir. a) eğer yarıgeçirgen zar hem su hem de Na^+ ve Cl^- iyonları için geçirgen ise, b) eğer yarıgeçirgen zar su ve Na^+ iyonları için geçirgen, Cl^- iyonları için geçirgen değil ise, c) eğer yarıgeçirgen zar su için geçirgen, Na^+ ve Cl^- iyonları için geçirgen değil ise?



- 12.105 Damar içi enjeksiyonda kullanılan sıvıların, kan ile yaklaşık aynı ozmotik basınca sahip olması niçin gereklidir, açıklayınız?
- 12.106** Derişik hidroklorik asit derişimi piyasada genellikle kütlece %37,7'dir. Bu çözeltinin derişimi molarite cinsinden nedir? (Çözeltinin yoğunluğu 1,19 g/mL'dir.)
- 12.107 Aşağıda verilen her bir durumu açıklayınız: (a) Deniz suyunun kaynama noktası saf suyunkinden daha yüksektir. (b) Bir alkolsüz gazlı içecek şişesinin kapağı açıldığında karbon dioksit çözeltiden kaçar. (c) Seyreltik sulu çözeltilerin molal ve molar derişimleri yaklaşık olarak birbirine eşittir. (d) Bir çözeltinin kolligatif özellikleri tartışılırken (ozmotik basıncın dışındakiler) derişimin molarite biriminden çok molalite biriminde ifade edilmesi tercih edilir. (e) Metanol (k.n. 65°C) araba antifirizi olarak kullanışlıdır. fakat yaz mevsiminde araba radyatöründe bırakılmamalıdır.
- 12.108** NaCl ve şekerden ($C_{12}H_{22}O_{11}$) oluşan 12 g karışım yeterli suda çözülerek 250 mL çözelti oluşturulmuştur. Çözeltinin ozmotik basıncı 23°C'de 7.32 atm'dir. Karışımındaki NaCl'ün kütlece yüzdesini hesaplayınız.
- 12.109 0,050 M hidroflorik asit (HF) çözeltisi 25°C'de %11 iyonlaşmıştır. Çözeltinin ozmotik basıncını hesaplayınız.
- 12.110** Belirli bir sıcaklıkta ve farklı derişimlerdeki A ve B sıvılarının buhar basınçlarının grafiği aşağıda gösterilmiştir. Verilen durumlardan hangileri yanlıştır? (a) Çözeltiler Raoult yasası'ndan negatif sapma göstermektedir. (b) A ve B molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri, kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinden daha zayıftır. (c) $\Delta H_{\text{çözelti}}$ pozitifdir. (d) $X_A = 0,20$ 'de çözelti. B sıvısından daha yüksek kaynama noktasına ve A sıvısından daha düşük kaynama noktasına sahiptir.



- 12.111 1,32 g sikloheksan (C_6H_{12}) ve naftalin ($C_{10}H_8$) karışımını 18,9 g benzen (C_6H_6) içinde çözünmüştür. Çözeltinin donma noktası 2,2°C'dir. Karışımın kütlece yüzdesini hesaplayınız. (Sabitler için Çizelge 12.2'ye bakınız.)
- 12.112** Bir iyonik bileşiğin çözünürlüğüne aşağıda verilen her bir durum nasıl etki eder? (a) Örgü enerjisi, (b) çözücü (polar veya apolar), (c) katyon ve anyonun hidratlaşma entalpileri.

- 12.113 Bir çözelti A ve B olmak üzere iki uçucu sıvı içermektedir. Aşağıdaki çizelgeyi tamamlayınız. \leftrightarrow simgesi moleküller arası çekim kuvvetlerini gösterir.

Çekim Kuvvetleri	Raoult Yasası'ndan sapma	$\Delta H_{\text{çöz}}$
$A \leftrightarrow A, B \leftrightarrow B > A \leftrightarrow B$		
	Negatif	
		Sıfır

- 12.114** Ticari sülfürik asidin derişimi kütlece %98,0 veya 18 M'dir. Çözeltinin molalitesi ve yoğunluğunu hesaplayınız.
- 12.115 Ticari nitrik asidin derişimi kütlece % 70,0 veya 15,9 M'dir. Çözeltinin molalitesi ve yoğunluğunu hesaplayınız.
- 12.116** Etanol ile 1-propanol karışımı 36°C'da ideal çözelti olarak davranmaktadır ve buharlarıyla dengededir. Çözeltideki etanolün mol kesri 0,62 ise bu sıcaklıkta etanolün buhar fazındaki mol kesrini hesaplayınız. (Saf etanolün ve 1-propanolün buhar basınçları 36°C'da, sırasıyla 108 ve 40,0 mmHg'dir.)
- 12.117 İdeal çözeltilerde hacimler toplanabilir. Bu durum: 5 mL A ve 5 mL B bir çözelti oluşturuyorsa, çözeltinin son hacmi 10 mL olur anlamına gelir. Bu durum için molekül düzeyinde bir yorumda bulununuz. 500 mL etanol (C_2H_5OH) ile 500 mL su karıştırıldığında son hacim 1000 mL'den daha küçüktür. Neden?
- 12.118** Amonyak (NH_3) suda çok iyi çözünür, fakat azot triklorürde (CCl_3) çözünmez. Açıklayınız.
- 12.119 Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$] şehir içme suyu arıtma tesislerinde istenmeyen parçacıkları uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Bu işlemin nasıl çalıştığını açıklayınız.
- 12.120** Asetik asit zayıf bir asit olup, çözeltide aşağıdaki gibi iyonlaşmaktadır:



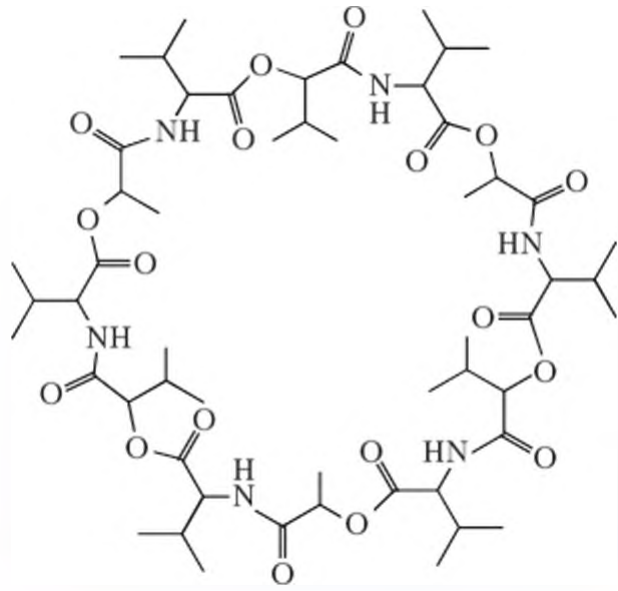
0,106 m CH_3COOH çözeltisinin donma noktası $-0,203^\circ C$ ise, asidin iyonlaşma yüzdesini hesaplayınız.

- 12.121 Mayonez yapımı, yumurta sarısı varlığında suya damlalar halinde yağın karıştırılması ile gerçekleştirilir. Burada neden yumurta sarısı kullanılır? (İpucu: Yumurta sarısı, polar başlı ve uzun apolar hidrokarbon kuyruklu moleküller olan lesitinleri içerir.)
- 12.122** Asetik asit polar bir moleküldür ve su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturabilir. Bu nedenle suda yüksek çözünürlüğe sahiptir. Fakat asetik asit aynı zamanda hidrojen bağları oluşturma yeteneği bu-

- lunmayan apolar benzende (C_6H_6) de çözünür. 3,8 g CH_3COOH 'ın 80 g C_6H_6 içindeki çözeltisi $3,5^\circ C$ 'de donar. Asetik asitin mol kütleini hesaplayınız ve sonucu yorumlayınız. (*İpucu:* Asetik asit molekülleri kendi aralarında hidrojen bağları oluşturabilmektedir)
- 12.123 2.6 L su örneği 192 μg kurşun içermektedir. Bu derişimdeki kurşun. 1 L suda güvenlik sınırları içerisinde bulunması gereken 0,050 ppm kurşundan daha fazla mıdır? [*İpucu:* $1 \mu g = 1 \times 10^{-6} g$. Milyonda bir kısım (ppm) = bileşen kütlesi/çözelti kütlesi) $\times 10^6$ olarak tanımlanmaktadır.]
- 12.124 Antarktika Okyanusu'ndaki bazı balıklar suda yaklaşık olarak $-2^\circ C$ 'de yüzerler. (a) Kanlarının donmasını engellemek için, kanın derişimi (molalite) ne olmalıdır? Bu mantıklı bir fizyolojik derişim midir? (b) Son yıllarda bilim adamları bu tip balıkların kanlarında özel bir protein keşfetmişlerdir. Bu protein oldukça düşük derişimde ($\leq 0,001 m$) olmasına rağmen, kanın donmasını engelleyebilmektedir. Bu durumu açıklayınız.
- 12.125 Bilindiği gibi, bir meşrubat (gazoz, kola, soda vb...) çalkamır ve sonra açılırsa, içecek şiddetli bir şekilde fişkirir. Ancak, kutu çalkalandıktan sonra, birkaç kere bir metal kaşık ile vurulursa, içekte "patlama" gibi böyle bir durum meydana gelmez. Neden?
- 12.126 Neden, örneğin bir buzdolabı içinde dondurucu tepsilerinde bulunan buz küpleri ve içerisi dumanlıdır?
- 12.127 İki beher kapalı bir kutunun içine yerleştirilmiştir. Başlangıçta, A beheri 100 g benzen (C_6H_6) içinde 0,15 mol naftalin ($C_{10}H_8$), B beheri ise 100 g benzen içinde çözünmüş 31 g bilinmeyen bir bileşik içermektedir. Dengede, A beherinde 7,0 g benzenin kaybolduğu bulunmuştur. İdeal davrandığını varsayarak, bilinmeyen bileşiğin mol kütleini hesaplayınız. Yapılan varsayımları belirtiniz.
- 12.128 $27^\circ C$ 'de, saf suyun buhar basıncı 23,76 mmHg ve bu sıcaklıktaki üre çözeltisinin buhar basıncı 22,98 mmHg'dır. Çözeltinin molalitesini hesaplayınız.
- 12.129 Pozitif sapma için örnek Şekil 12.8 (a)'da, aseton (CH_3COCH_3) ve karbon disülfür (CS_2)'den oluşan bir çözelti için gösterilmiştir. (a) Bu moleküllerin Lewis yapısını çiziniz. Moleküller arası etkileşimlere göre ideal davranıştan sapmayı açıklayınız. (b) 0,60 mol aseton ve 0,40 mol karbon disülfürden oluşan bir çözeltinin, $35,2^\circ C$ 'de buhar basıncı 615 mmHg'dır. Çözelti ideal olarak davranırsa, buhar basıncı ne olacaktır? Aynı sıcaklıkta saf çözücülerin buhar basınçları, aseton: 349 mmHg; karbon disülfür: 501 mmHg. (c) $\Delta H_{\text{çözelti}}$ 'nin işaretini öngörünüz.
- 12.130 A (mol kütle: 100 g/mol) ve B (mol kütle: 110 g/mol) sıvıları ideal bir çözelti oluşturmaktadır. $55^\circ C$ 'de, A sıvısının buhar basıncı 95 mmHg ve B sıvısının buhar basıncı 42 mmHg'dır. Çözelti, eşit kütlede A ve B sıvıları karıştırılarak hazırlanıyor. (a) Çözeltideki her bir bileşiğin mol kesrini hesaplayınız. (b) $55^\circ C$ 'de çözeltinin üzerindeki A ve B'nin kısmi basınçlarını hesaplayınız. (c) (b)'de tarif edilen buharın bir kısmının ayrı bir kapta sıvıya yoğunlaştırıldığını varsayınız. Bu sıvıdaki her bir bileşenin mol kesrini ve $55^\circ C$ 'de bu sıvının üzerindeki her bir bileşenin buhar basıncını hesaplayınız.
- 12.131 Çok uzun bir borunun bir ucuna yarıgeçirgen bir zar yerleştirilmiştir. Tatlı suyun zarın içinden geçmeye başlaması için boru denizin içine kaç metre derinlikte daldırılmalıdır? Bu suyun $20^\circ C$ 'de ve 0,70 M NaCl çözeltisi gibi olduğunu kabul ediniz. Deniz suyunun yoğunluğu $1,03 g/cm^3$ ve yerçekimi ivmesi $9,81 m/s^2$ 'dir.
- 12.132 Sırasıyla, 50 mL 0,10 M üre ve 50 mL 0,20 M üre içeren 1 ve 2 numaralı iki beher $298 K$ 'de sıkıca kaplanmış kutuya yerleştirilmiştir (bak. Şekil 12.12). Dengede, çözeltilerdeki ürenin mol kesrini hesaplayınız. İdeal davrandığını varsayınız.
- 12.133 A ve B sıvılarının karışımı ideal davranış sergilemektedir. $84^\circ C$ 'de 1,2 mol A ve 2,3 mol B içeren bir çözeltinin toplam buhar basıncı 221 mmHg'dır. Çözeltiye bir mol daha B maddesinden ilave edilmesiyle, buhar basıncı 347 mmHg'a yükselmektedir. Saf A ve B'nin $84^\circ C$ 'deki buhar basınçlarını hesaplayınız.
- 12.134 Belirli bir miktar çözücüde *çözünen* bir gazın hacminin gazın basıncından bağımsız olduğu durumu ıspatlamak için ideal gaz eşitliğini ve Henry yasası'nı kullanınız. (*İpucu:* Henry yasası $n = kP$ şeklinde değiştirilebilir, burada n çözücü içinde çözünen gazın mol sayıdır.)
- 12.135 (a) Bir çözeltinin molalitesinin (m) molaritesiyle (M) ilişkili olduğu aşağıdaki eşitliği türetiniz:
- $$m = \frac{M}{d - \frac{M \cdot M}{1000}}$$
- d çözeltinin yoğunluğu (g/mL) ve M çözünenin mol kütleidir (g/mol). (*İpucu:* Çözeltinin kütlesi ve çözünenin kütlesi arasındaki farktan, çözücüyü kilogram cinsinden ifade ederek başlayınız.) (b) Seyreltik sulu çözeltiler için m 'nin yaklaşık olarak M 'ye eşit olduğunu gösteriniz.
- 12.136 $298 K$ 'de glukoz çözeltisinin ozmotik basıncı 10,50 atm'dir. Çözeltinin donma noktasını hesaplayınız. Çözeltinin yoğunluğu $1,16 g/mL$ 'dir.
- 12.137 Bir öğrenci, bir meşrubat şişesi içindeki karbon dioksitin basıncını ölçmek için şu işlemleri gerçekleştirmiştir. İlk önce, şişenin ağırlığını (853,5 g) ölçmüştür. Sonra, şişenin kapağını CO_2 gazının çıkışına izin vermek için dikkatlice açmıştır. Daha sonra, kapakla beraber tekrar şişenin ağırlığını

(851,3 g) ölçmüştür. Son olarak, meşrubatın hacmini (452,4 mL) ölçmüştür. Su içinde, 25 °C'de CO₂ için Henry yasası sabiti 3.4×10^{-2} mol/L atm'dir. İlk şişedeki CO₂'in basıncını hesaplayınız. Neden bu basınç, gerçek basınca göre sadece tahmini bir değeridir?

- 12.138** Valinomisin bir antibiyotiktir. Bu antibiyotiğin fonksiyonu. K⁺ iyonlarını bağlaması ve onları membrandan hücre içine doğru iyonik dengeyi oluşturmak için taşımasıdır. Burada molekül, her bir düz çizginin sonu, karbon atomuna karşılık gelen (çizgi sonunda N veya O atomu gösterilmediğinde) *iskelet* yapıyla gösterilmiştir. C atomunun toplam dört bağ yapması için gerekli olan H atomları, her bir C atomuna bağlıdır. "Benzer benzeri çözer" ilkesini kullanarak antibiyotiğin fonksiyonunu açıklayınız. (İpucu: Y şeklinin iki ucundaki -CH₃ grupları polar değildir.)



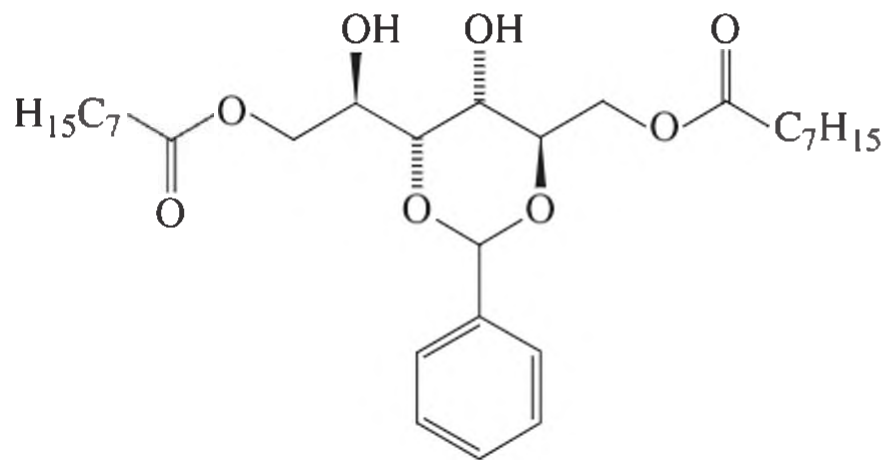
- 12.139** Ozmotik basınç ölçümüyle bir bileşiğin mol kütle-sini tayin ederken, genellikle daha güvenilir ortalama bir değer elde etmek için birçok kez farklı derişimlerde ölçüm yapılır. Poli(metil metakrilat)'ın 25 °C'de, toluen içindeki ozmotik basıncı için aşağıda verilen bilgileri kullanarak, grafik yöntemiyle polimerin mol kütle-sini bulunuz. [İpucu: π 'yi c 'ye (gram çözünen /L çözelti) bağlı olacak şekilde Eşitlik (12.8)'i yeniden düzenleyiniz.]

π (atm)	$8,40 \times 10^{-4}$	$1,72 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-3}$	$3,23 \times 10^{-3}$	$7,75 \times 10^{-3}$
c (g/L)	8.10	12.31	15.00	18.17	28.05

- 12.140** İşte akşam yemeği sonrası bir numara! Masada hala misafirleriyle oturan ev sahibi, herbirine üzerinde yüzen buz küptü bulunan bir bardak su ve yaklaşık 5-8 cm uzunluğunda bir parça ip verdi. Daha sonra onlardan elleriyle buz küptüne dokunmadan ya da kaşık veya çatal gibi başka bir alet kullanmadan buz küptünü kaldırmanın bir yolunu bulmalarını istedi. Bu işin nasıl başarılabilceğini açıklayınız. (İpucu: Masa henüz temizlenmemişti, yani tuz ve karabiber hala masada durmaktaydı.)

Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

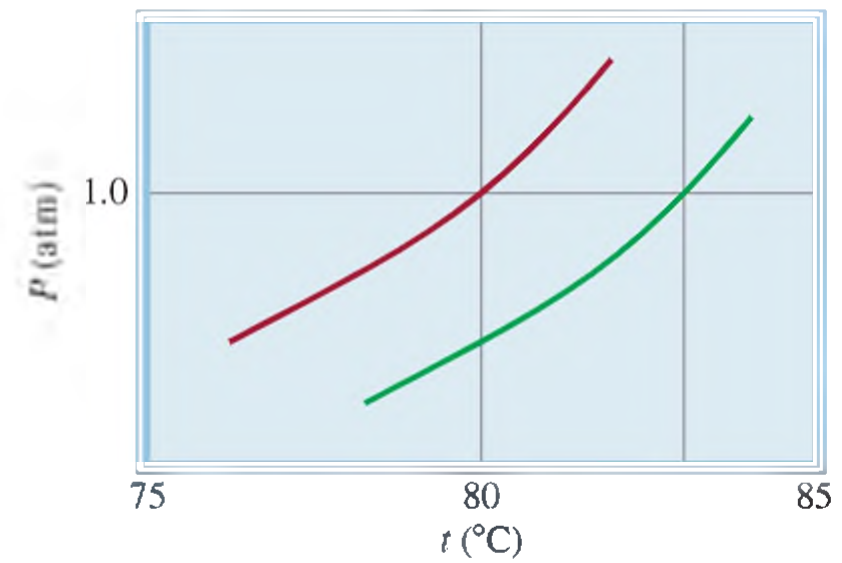
- 12.141** Aşağıda çizilen molekül, su içinde dağılmış olan yağı temizlemek için umut vadeden bir reaktif olarak gösterilmektedir. Sabun moleküllerinin yaptığı gibi yağı suda dağıtması yerine (bak. Şekil 12.19 ve 12.20) böyle moleküller yağ damlalarına bağlanarak bir jel oluştururlar. Böylece suyun bünyesinden yağ kolayca ayrılabilir. Sudan yağın uzaklaştırılmasını sağlayan bu bileşiğin, bunu nasıl yapabildiğini açıklayınız.



- 12.142** Oksijenin 25 °C'de sudaki Henry yasası sabiti 1.3×10^{-3} mol/L atm'dir. 1 atmosfer hava koşulunda,

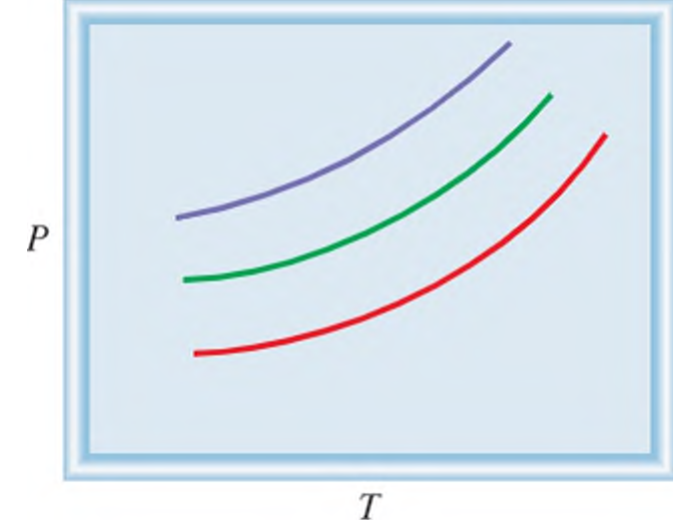
su içindeki oksijenin molaritesini hesaplayınız. Hemoglobin molekülleri olmadan hayatta kalabil-memiz ihtimali üzerine bir açıklama yapınız. (Önceki problemde, yetişkin bir insandaki kanın toplam hacminin yaklaşık 5 L olduğunu hatırlayınız.)

- 12.143** Aşağıda verilen diyagram, saf benzen ve uçucu olmayan bir çözünenin benzendeki çözeltisi için buhar basıncı eğrilerini göstermektedir. Benzen çözeltisinin molalitesini hesaplayınız.



- 12.144 Yaygın bir kavram hatası, spaghetti yaparken suya tuz eklemenin pişirme zamanını düşüreceğidir. Çünkü bu, büyük ihtimalle suyun kaynama noktasını artırır. Spagetti pişirirken kullanılan klasik bir tuzlu suyun kaynama noktasını hesaplayınız. Sıcaklıktaki bu artışın, spaghetti için pişirme zamanında büyük bir fark oluşturduğunu düşünür müsünüz?
- 12.145 Şekil 12.19'da gösterilen sodyum stearat bileşiği tarafından oluşturulan yağ damlasının hacmini hesaplayınız.
- 12.146 A ve B sıvıları ve bunların çözeltisinin buhar basıncı eğrilerini gösteren çizim aşağıdaki gibidir. A

sıvısının, B sıvısından daha uçucu olduğu verilmiştir. Eğrileri saf sıvılar (A ve B) ve bunların çözeltisi için eşleştiriniz.



Aıştırma Cevapları

- 12.1 Karbon disülfür. 12.2 yüzde 7,44. 12.3 0,638 m.
 12.4 8,92 m. 12.5 13,8 m. 12.6 $2.9 \times 10^{-4} M$.
 12.7 37,8 mmHg; 4,4 mmHg. 12.8 T_b : 101,3°C; T_d : -4,48°C.
 12.9 21,0 atm. 12.10 0,066 m ve $1,3 \times 10^2$ g/mol.
 12.11 $2,60 \times 10^4$ g. 12.12 1,21.

KİMYANIN Gizemi

Yanlış Bıçak†

Los Angeles'lı ünlü adli tabip Dr. Thomas Noguchi, bıçaklanarak öldürülen yirmi yaşlarındaki genç bir adama otopsi yapıyordu. Los Angeles Polis Merkezi cinayet dedektifi, öldürücü silahın içinde olduğu kahverengi bir çanta ile odaya girdi. 'Şuna bir bakmak ister misiniz?' diye sordu.

Dr. Noguchi "Hayır" dedi. "Sana öldürücü silahın tam olarak neye benzediğini göstereceğim."

Dr. Noguchi gösteriş yapmıyordu. Otopsiyi gözlemleyen stajyer patolojlara önemli bir adli yöntemi göstermek istedi. Bir bıçak derinliğini ölçmenin geleneksel yöntemi, baryum sülfat ($BaSO_4$) çözeltisini yaranın içine dökmek ve onun röntgenini çekmektir. Dr. Noguchi bundan daha iyi bir yol bulduğunu göstermek istedi.

Küçük bir Bunsen beki yaktı. Dedektif ile stajyerler izlerken biraz Odun metalini[düşük erime noktasına ($71^{\circ}C$) sahip bizmut, kurşun, kalay ve kadmiyum alaşımı] Bunsen beki üzerinde eritti. Ardından, kurbanın göğsünde, karaciğerin bulunduğu yerin üzerindeki bir yarayı seçti ve sıvı metali içine boşalttı. Metal yara boyunca, delinmiş karaciğerin içine ilerledi. Soğuduğunda, cinayet silahının ucunun tam bir kalıbını çıkardı. Karaciğer ile göğüs derisinin yüzeyi arasındaki mesafeye bu ucun uzunluğunu ekledi. Ardından cinayet dedektifine "Beş buçuk inç uzunluğunda, bir inç derinliğinde ve bir inç'in onaltıda biri kalınlığında bir bıçak" dedi.

Dedektif gülümsedi ve çantasma uzandı. "Üzgünüm, Dr. Noguchi" dedi. Yaklaşık sadece üç inç uzunlukta olan, çok daha küçük bir çakıyı çıkardı.

Dr. Noguchi birden "Bu yanlış bıçak" dedi.

Dedektif "Yapmayın" dedi. "Onu öldüren bıçağı tam olay yerinde bulduk"

Dr. Noguchi "Cinayet silahına sahip değilsiniz" diye ısrar etti.

Dedektif ona inanmadı. Ama iki gün sonra polis, olay yerinden iki blok ötedeki bir çöp kutusunda kan lekeli bir silah buldu. O silah tam olarak beş buçuk inç uzunluğunda, bir inç derinliğinde ve bir inç'in onaltıda biri kalınlıktaydı. Ayrıca, bıçağın ucundaki kan maktülün kanı ile eşleşmişti.

O silahın cinayet silahı olduğu ortaya çıktı. Olay yerinde polisin bulduğu çakı, maktül tarafından nefsi müdafaa için kullanılmıştı. İki bıçak olması, bıçaklı bir kavga olduğunu gösteriyordu. Bu bir çete savaşının parçası mıydı? Polis inceleme yaptı. Maktülün bir çeteye savaş halinde olan, başka bir çeteye üye olduğunu öğrendi. Rakip çetenin üyelerini sorgulayarak, sonunda katilin kimliğini tespit etti.



†Simon & Schuster izni ile "Coroner," by Thomas T. Noguchi, M.D., Copyright 1984 by Thomas Noguchi and Joseph DiMona- dan uyarlanmıştır.

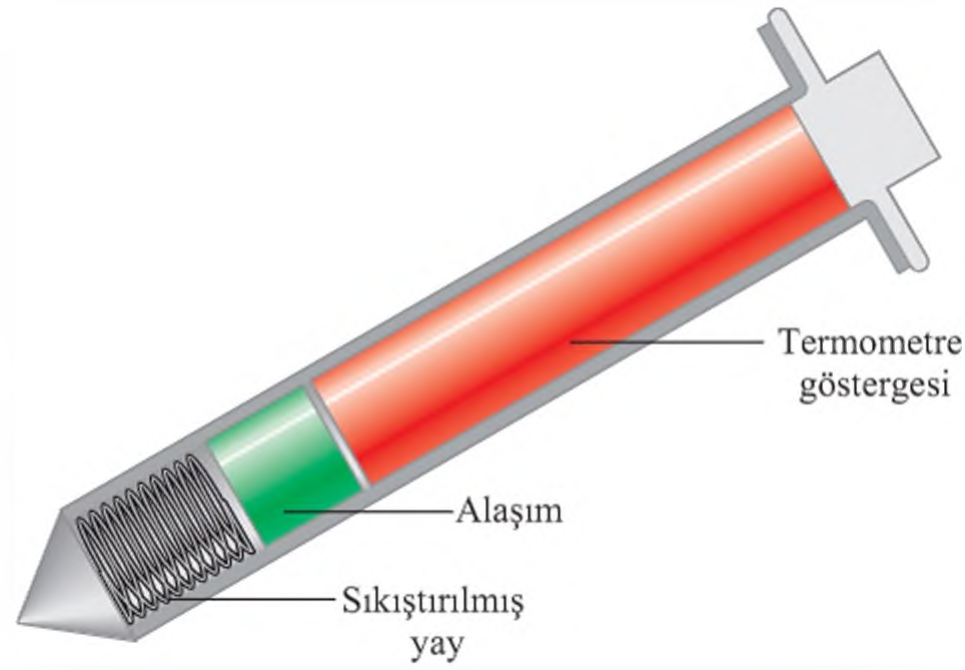
Odun Metalinin Bileşimi*

Bileşen	Erime Noktası (°C)
Bizmut (%50)	271
Kadmiyum (%12,5)	321
Kurşun (%25)	328
Kalay (%12,5)	232

*Bileşenler kütlece yüzde ve erime noktası saf metalin erime noktası olarak verilmiştir.

Kimyasal İpuçları

1. BaSO_4 çözeltisinin bir cinayet kurbanının vücudundaki bıçak yarasını ölçmek için, geleneksel bir yöntem olarak görevi nedir? BaSO_4 'ün tıbbi bir uygulamasını anlatınız.
2. Çizelgede görüldüğü gibi, saf metallerin erime noktaları Odun metalininkinden çok daha yüksektir. Hangi olgu düşük erime noktasını açıklar?
3. Odun metali otellerin ve mağazaların tavanlarındaki otomatik yangın söndürme cihazlarında kullanılır. Böyle bir yağmurlama sisteminin nasıl çalıştığını açıklayınız.
4. Bir alaşımın erime noktası, bileşimi farklılaştırılarak değiştirilebilir. Bazı organik maddeler de aynı amaç için geliştirilmiştir. Burada, hindi pişirirken kullanılan yaylı termometrenin basitleştirilmiş bir şekli gösterilmiştir. Bu termometrenin nasıl çalıştığını anlatınız.



Hindi pişirmede kullanılan yaylı termometre.

Bölüm 13

Kimyasal Kinetik



Kimyasal tepkimelerin hızları çok farklıdır. Yer kabuğundaki grafitin elmasa dönüşmesi milyonlarca yıl sürebilir. Diğer taraftan, dinamit ve TNT gibi maddelerin patlama tepkimeleri saniyeler içinde tamamlanır.

Bölüm Başlıkları

- 13.1 Tepkime Hızı
- 13.2 Hız Yasaları
- 13.3 Tepken Derişimleri ile Zaman Arasındaki İlişki
- 13.4 Eşik Enerjisi ve Hız Sabitinin Sıcaklığa Bağlılığı
- 13.5 Tepkime Mekanizmaları
- 13.6 Kataliz

Toplu Bakış

- İlk önce, tepkime hızını tepken ve ürün derişimleri ile ifade ederek bu hızın tepkime stokiyometresine nasıl bağlı olduğunu inceleyeceğiz. (13.1)
- Tepkime hız yasasının, hız sabiti ve tepkime derecesi ile nasıl tanımlandığını göreceğiz. (13.2)
- Daha sonra, üç tür tepkime için tepken derişimi ve tepkime süresi arasındaki ilişkileri ele alacağız: sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden tepkimeler. Farklı derecelerde yürüten tepkimeleri ayırt etmemizi sağlayan yarılanma süresi üzerinde duracağız. Yarılanma süresi, tepken derişiminin başlangıç değerinin yarıya inmesi için geçen süre olarak tanımlanır. (13.3)
- Genellikle sıcaklık artışının tepkime hızlarını arttığını göreceğiz. Eşik enerjisi, kimyasal tepkimenin başlaması için gerekli olan minimum enerji miktarı olup aynı zamanda tepkime hızını da etkiler. (13.4)
- Tepkime mekanizmalarının basit basamaklar ile ifade edilebileceğini ve hız ifadesinin, en yavaş yürüten hız-belirleyici basamak üzerinden tanımlanabileceğini göreceğiz. Kimyacıların, tepkime mekanizmalarını deneysel yoldan nasıl doğruladıklarını öğreneceğiz. (13.5)
- Son olarak, katalizörün tepkime hızına etkisini inceleyeceğiz. Heterojen kataliz, homojen kataliz ve enzim kataliz özelliklerini öğreneceğiz. (13.6)

Önceki bölümde, kimyadaki temel tanımlar üzerinde durarak gazlar, sıvılar, katılar ve çözeltilerin özelliklerini inceledik. Maddelerin moleküler özelliklerini tartıştık ve çeşitli tipte tepkimeleri ayrıntılı olarak ele aldık. Bu bölümde ve daha sonraki bölümlerde, kimyasal tepkimeleri yöneten temel yasaları ve ilişkileri biraz daha yakından inceleyeceğiz.

Acaba bir tepkimenin olup olmayacağını nasıl tahmin edebiliriz? Tepkime bir kez başladıktan sonra hangi hızda devam eder? Sonlanmadan önce nereye kadar devam eder? Termodinamik yasalar (Bölüm 17'de tartışılacak) birinci sorumuzun cevabını bulmamızda bize yardımcı olacaktır. Bu bölümün konusu olan kimyasal kinetik, tepkime hızları ile ilgili sorularımıza cevap verecektir. Son sorumuz ise kimyasal denge ile ilgili olup bu sorumuza denge ile ilgili konuları içeren Bölüm 14.15 ve 16'da cevap bulacaksınız.

13.1 Tepkime Hızı

Bir kimyasal tepkimenin oluşumunda, hızlarla ilgilenen kimya alanına **kimyasal kinetik** denir. "Kinetik" kelimesi hareket veya değişimi kapsar. Bölüm 5'de kinetik enerjiyi maddenin hareketinden kaynaklanan enerji olarak tanımlamıştık. Burada ise kinetik kelimesi, tepkime hızına işaret eder. **Tepkime hızı tepken veya ürün derişiminin zamanla değişimidir (M/s).**

Bir tepkimenin hızını incelemek için pek çok gerekçe vardır. Merak edilen ilk konu, tepkimelerin neden birbirlerinden çok farklı hızlarda yürüdükleridir. Örneğin, fotosentez ve bazı nükleer zincir tepkimeleri 10^{-12} s ile 10^{-6} s gibi çok kısa bir sürede meydana gelirken, betonun sertleşmesi veya grafitin elmasa dönüşmesi yıllarca veya milyonlarca yıl sürmektedir. Tepkime hızları hakkında bilgi sahibi olmak, ilaç tasarımı, kirlenme kontrolü ve gıda üretimi gibi pek çok alanda pratik yararlar sağlar. Endüstri kimyacıları, tepkime verimini en üst düzeye çıkarmaktan ziyade tepkime hızını artırma üzerinde yoğunlaşmaktadırlar.

Herhangi bir tepkime genel olarak

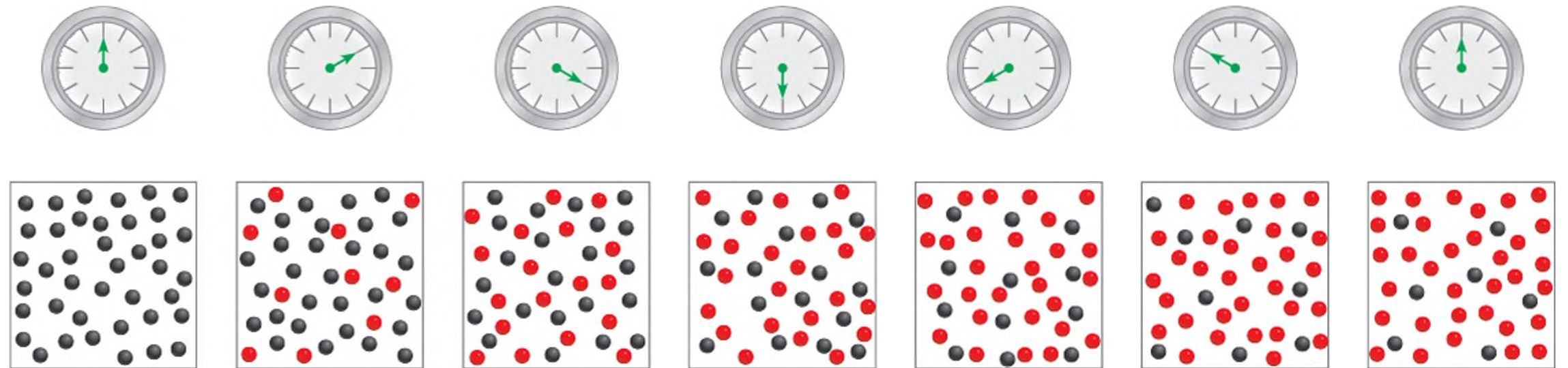


eşitliği ile verilir. Bu tepkime bize, tepkime süresince ürünler oluşurken tepkenlerin harcandığını söyler. Sonuç olarak, bir tepkimenin ilerleyişini ya tepken derişimindeki azalmayı ya da ürün derişimindeki artmayı ölçerek takip edebiliriz.

Şekil 13.1 A moleküllerinin B moleküllerine dönüştüğü basit bir tepkimenin ilerleyişini göstermektedir.

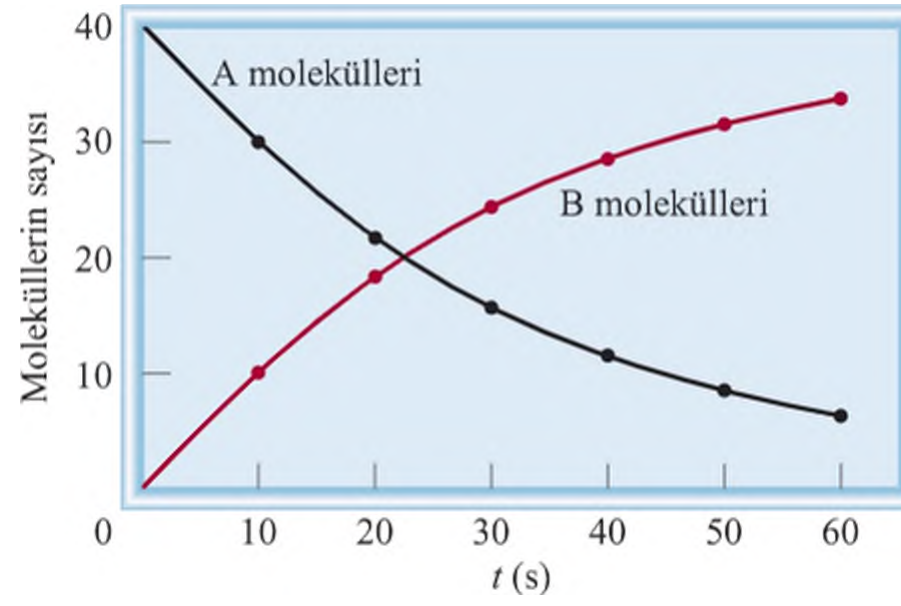


Zaman içinde A moleküllerinin sayısındaki azalma ve B moleküllerinin sayısındaki artma Şekil 13.2'de gösterilmektedir. Genel olarak tepkime hızını, zamanla derişim-



Şekil 13.1 $A \longrightarrow B$ şeklindeki bir tepkimenin 60 saniyelik bir zaman diliminde, 10 saniye aralıklarla ilerleyişi. Başlangıçta yalnızca A molekülleri (gri küreler) mevcuttur. Zaman ilerledikçe B molekülleri (kırmızı küreler) oluşur.

Şekil 13.2 $A \longrightarrow B$ şeklinde yürüyen bir tepkimenin hızı. Zamanla A molekülleri azalırken B molekülleri artmaktadır.



deki değişim olarak ifade etmek daha uygundur. Bu nedenle $A \longrightarrow B$ şeklindeki bir tepkime için hız,

$$\text{hız} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} \quad \text{veya} \quad \text{hız} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

Δ işaretinin son ve ilk haller arasındaki fark olduğunu hatırlayınız.

ifadesi ile verilebilir. Burada $\Delta[A]$ ve $\Delta[B]$, belirli bir Δt süresi için de derişimlerde (molarite) meydana gelen değişimlerdir. A'nın derişimi zamanla *azaldığı* için $\Delta[A]$ negatif işaretlidir. Tepkime hızı pozitif bir nicelik olduğundan, hızın değerini pozitif yapmak üzere hız ifadesinde bir eksi işareti ihtiyacı vardır. Diğer yandan, $\Delta[B]$ zaten pozitif nicelik olduğundan (B'nin derişimi zamanla *artar*) ürün oluşma hız ifadesinde eksi bir işarete gerek yoktur. Tepkime hızı belirli bir zaman periyodu (Δt) için verildiğinden, *ortalama hız* değerindedir.

Bir sonraki aşamamız tepkime hızlarının deneysel olarak nasıl belirleneceğidir. Bir tepkimenin hızını, tepken (veya ürün) derişimini zamanın fonksiyonu şeklinde takip ederek saptayabileceğimizi biliyoruz. Çözeltilerde yürüyen tepkimeler için, türlerin derişimi genellikle spektroskopik olarak belirlenir. Eğer ortamda iyonlar varsa derişimler iletkenlik ölçümleri ile de tayin edilebilir. Gazların yer aldığı tepkimelerde en uygun yöntem ise basınç ölçülmesidir. Şimdi, tepkime hızlarının farklı yöntemlerle tayin edildiği iki özel tepkimeyi ele alacağız.

Brom ile Formik Asit Tepkimesi

Sulu çözeltide brom ile formik asit (HCOOH) aşağıda gösterildiği gibi tepkimeye girer:



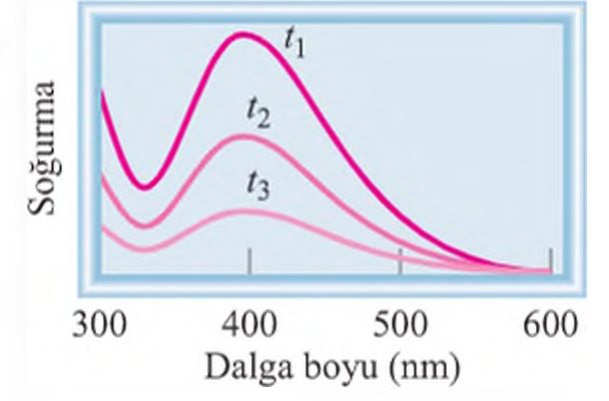
Bromun rengi kırmızı-kahve olup tepkimedeki diğer bütün türler renksizdir. Tepkime ilerledikçe, Br_2 'un derişimi düzenli olarak azaldığından çözeltinin rengi açılır (Şekil 13.3). Bu renk ve derişim azalması brom tarafından soğurulan görünür bölge ışık miktarının spektroskopik olarak ölçülmesi ile kolaylıkla takip edilebilir (Şekil 13.4).

Brom derişiminin başlangıç ve son değerlerindeki değişimin (azalma) ölçülmesi, belirli bir zaman aralığı için ortalama tepkime hızını bulmamızı sağlar:

$$\begin{aligned} \text{ortalama hız} &= -\frac{\Delta[\text{Br}_2]}{\Delta t} \\ &= -\frac{[\text{Br}_2]_{\text{son}} - [\text{Br}_2]_{\text{ilk}}}{t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}} \end{aligned}$$



Şekil 13.3 Soldan sağa: Zaman ilerledikçe brom derişimindeki azalma renk kaybına yol açar (soldan sağa).



Şekil 13.4 Bromun soğurma-dalga boyu grafiği. Görünür ışığın brom tarafından soğurulduğu maksimum dalga boyu 393 nm'de gözlenir. Tepkime ilerledikçe (t_1 'den t_3 'e doğru) $[Br_2]$ ile orantılı olarak soğurma azalır.

Çizelge 13.1'den yararlanarak ilk 50 s'deki ortalama hızı aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

$$\text{ortalama hız} = -\frac{(0,0101 - 0,0120) M}{50,0 s} = 3,80 \times 10^{-5} M/s$$

Eğer ilk 100 s aralığını seçmiş olsaydık ortalama hız,

$$\text{ortalama hız} = -\frac{(0,00846 - 0,0120) M}{100,0 s} = 3,54 \times 10^{-5} M/s$$

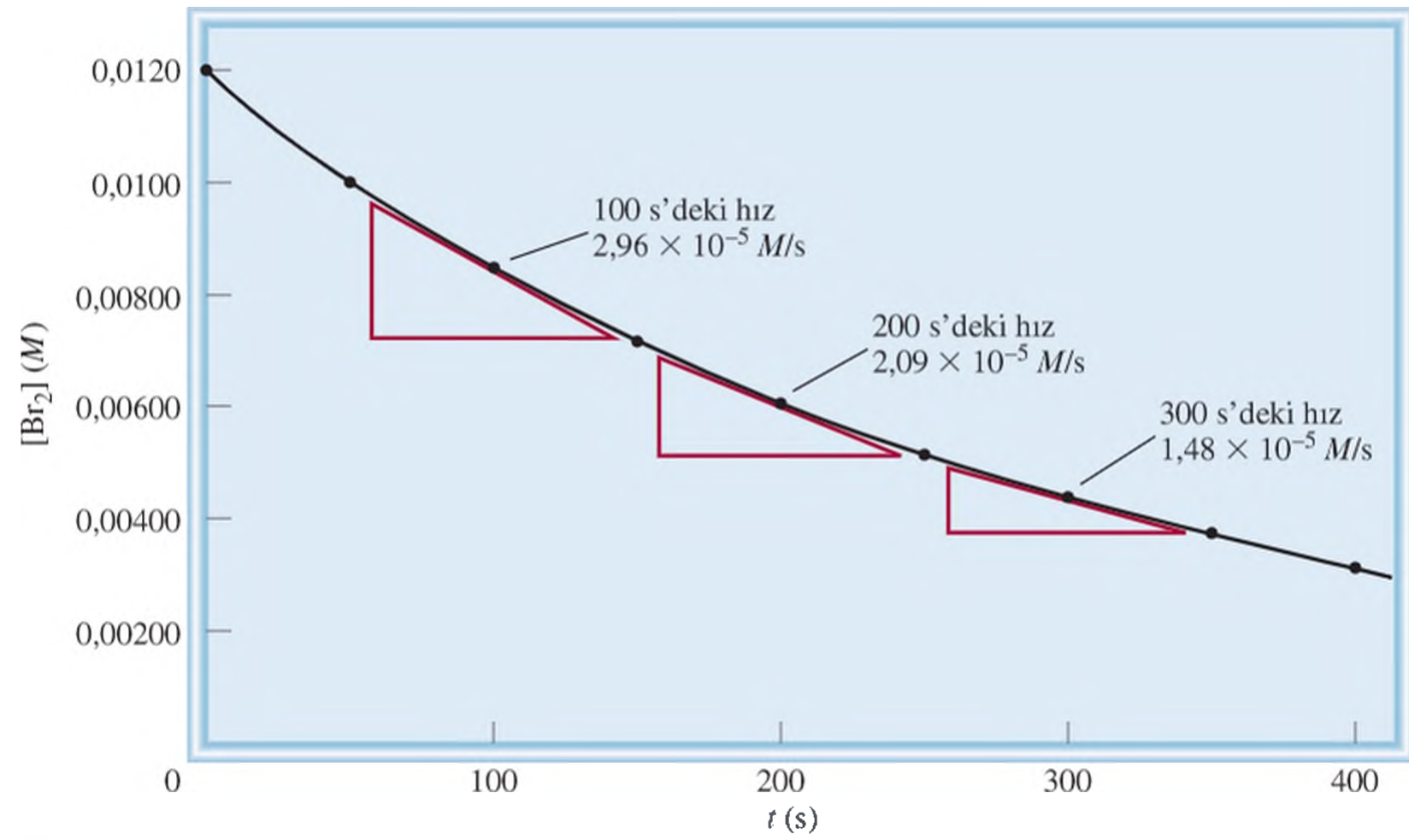
olarak verilirdi. Bu hesaplamalar bir tepkimenin ortalama hızının seçtiğimiz zaman aralığına bağlı olduğunu gösterir.

Bir tepkimenin ortalama hızını son derece küçük zaman aralıkları için hesaplayarak, o tepkimenin seçilen zamandaki *anlık hızını* bulabiliriz. Şekil 13.5, Çizelge 13.1'deki verilere dayanarak oluşturulan $[Br_2]$ 'ın zamanla değişim grafiğidir. Grafiks olarak tepkime başladıktan 100 s sonraki anlık hız, eğrinin o andaki eğim değeri ile

Çizelge 13.1

25°C'de Brom ile Formik Asit Arasındaki Tepkime Hızları

Zaman (s)	$[Br_2]$ (M)	Hız (M/s)	$k = \frac{\text{hız}}{[Br_2]}$ (s^{-1})
0,0	0,0120	$4,20 \times 10^{-5}$	$3,50 \times 10^{-3}$
50,0	0,0101	$3,52 \times 10^{-5}$	$3,49 \times 10^{-3}$
100,0	0,00846	$2,96 \times 10^{-5}$	$3,50 \times 10^{-3}$
150,0	0,00710	$2,49 \times 10^{-5}$	$3,51 \times 10^{-3}$
200,0	0,00596	$2,09 \times 10^{-5}$	$3,51 \times 10^{-3}$
250,0	0,00500	$1,75 \times 10^{-5}$	$3,50 \times 10^{-3}$
300,0	0,00420	$1,48 \times 10^{-5}$	$3,52 \times 10^{-3}$
350,0	0,00353	$1,23 \times 10^{-5}$	$3,48 \times 10^{-3}$
400,0	0,00296	$1,04 \times 10^{-5}$	$3,51 \times 10^{-3}$



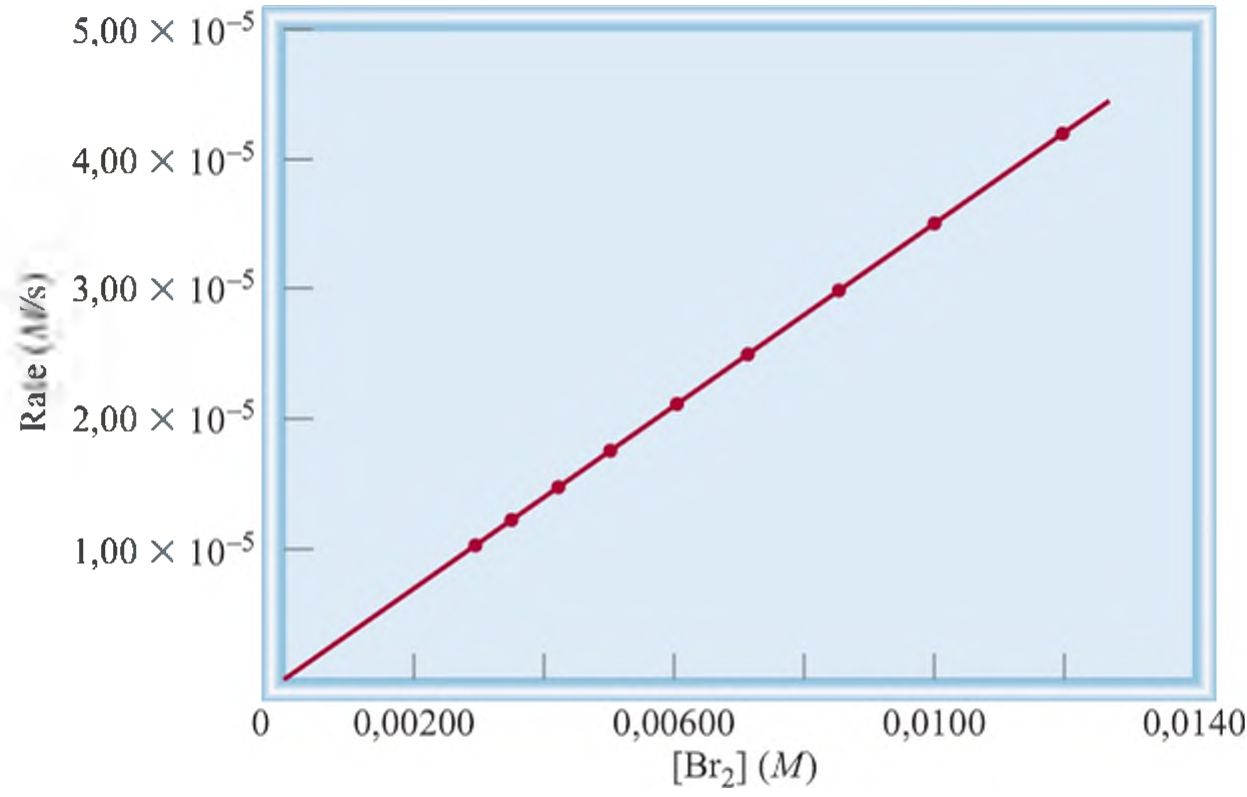
Şekil 13.5 Brom ile formik asit arasındaki tepkimenin $t = 100$ s, 200 s ve 300 s’de anlık hızları, o anlarda çizilen teğetlerin eğimleri ile verilir.

verilir. Herhangi bir başka zamandaki hız, yine aynı şekilde o andaki eğrinin eğiminden bulunabilir. Bu yolla saptanan anlık hız değerinin, sıcaklık sabit tutulduğu sürece aynı tepken derişimleri için daima aynı değerde olacağına dikkat edilmelidir. Aksi belirtilmedikçe, anlık hızı belirli bir zaman için vereceğiz ve bu hızı o zamandaki “anlık hız” olarak ifade edeceğiz.

Şöyle bir yolculuk benzetmesi ortalama hız ile anlık hız arasındaki farkı anlamamıza yardımcı olur. Otomobil ile San Francisco, Los Angeles arası 824 km’dır. Bu mesafeyi bir kişi 11,4 saatte kat ederse, ortalama hız $824 \text{ km} / 11,4 \text{ saat}$ yani $72,3 \text{ km/saat}$ olarak bulunur. Ancak aracın hareket ettikten 3 saat 26 dakika sonraki hızı 89,0 km/saat ise, aracın o anlık hızı 89,0 km/saat demektir. Diğer bir deyişle, anlık hız arabanın hız ölçerinden o an için okuduğunu hızdır. Örneğimizdeki arabanın hızının yolculuk boyunca artıp azalabileceğine, ancak bir tepkimenin anlık hızının zamanla daima azalacağını dikkat ediniz.

Brom-formik asit tepkimesinin hızı formik asit derişimine de bağlıdır. Ancak, tepkime ortamına aşırı formik asit koyarak, formik asit derişiminin tepkime süresince göreceli olarak sabit kalmasını sağlayabiliriz. Bu koşullar altında formik asidin çözeltideki mevcut miktarının değişmesi ölçülen tepkime hızını etkilemez.

Şimdi brom derişiminin tepkime hızı üzerine etkisini ele alalım. Çizelge 13.1’deki verilere bakarak Br_2 derişimini ve tepkime hız değerlerini, $t = 50$ s ve $t = 250$ s için karşılaştıralım. $t = 50$ s’de brom derişimi $0,0101 \text{ M}$ ve tepkime hızı $3,52 \times 10^{-5} \text{ M/s}$ iken $t = 250$ s’de brom derişimi $0,00500 \text{ M}$ ve tepkime hızı $1,75 \times 10^{-5} \text{ M/s}$ ’dir. $t = 50$ s’deki derişim $t = 250$ s’deki derişimin iki katı iken ($0,0101 \text{ M}$ ’a karşı $0,00500 \text{ M}$), $t = 50$ s’deki tepkime hızı da $t = 250$ s’deki tepkime hızının iki katıdır ($3,52 \times$



Şekil 13.6 Brom ile formik asit arasında yürüyen tepkime için brom derişimine karşı hız grafiğı. Doğru çizgi tepkime hızının brom derişimi ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir.

10^{-5} M/s 'e karşın $1,75 \times 10^{-5} \text{ M/s}$). Brom derişimi iki kat artırıldığında tepkime hızının da iki kat arttığını görürüz. Yani hız, Br_2 derişimi ile doğru orantılıdır:

$$\begin{aligned} \text{hız} &\propto [\text{Br}_2] \\ &= k[\text{Br}_2] \end{aligned}$$

Bu ifadedeki *tepkime hızı ile tepken derişimleri arasındaki orantı sabiti olan k terimi hız sabiti* olarak adlandırılır. Br_2 derişimi ile hız arasındaki bu orantının doğrusal olduğu, veriler grafiğı alındığında da zaten görülür.

Hızın, Br_2 derişimini ile değişimi Şekil 13.6'daki grafikte verilmiştir. Bu grafikte elde edilen doğru, hızın derişim ile doğru orantılı olduğunu gösterir; derişim arttıkça hızda artar. Son eşitliğin yeniden düzenlenmesiyle k şöyle yazılabilir:

$$k = \frac{\text{hız}}{[\text{Br}_2]}$$

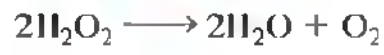
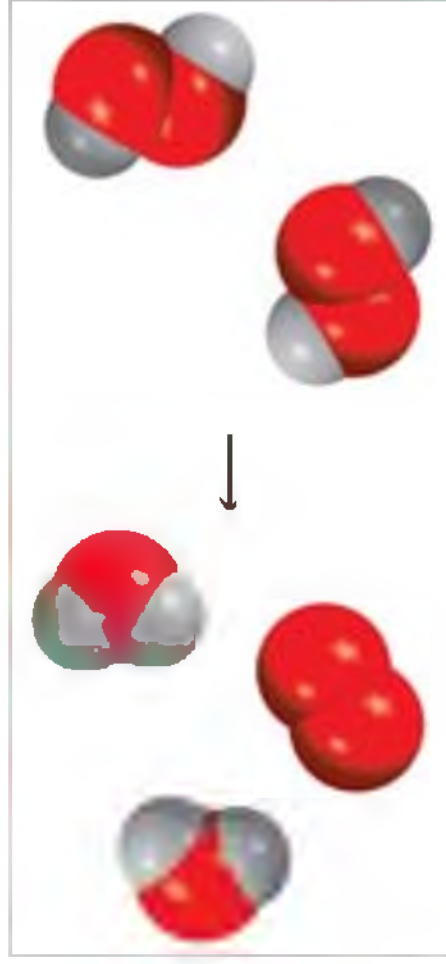
Hız birimi M/s ve $[\text{Br}_2]$ birimi M olduğundan, k 'nın birimi $1/\text{s}$ veya s^{-1} dir. Br_2 derişiminin k 'nın değerini *etkilemediğini* anlamak önemlidir. Br_2 derişimi arttıkça hız artar, azaldıkça hız azalır, ancak $\text{hız}/[\text{Br}_2]$ *oranı* sıcaklık sabit kaldığı sürece değişmez.

Çizelge 13.1'den tepkimenin hız sabitini hesaplayabiliriz. $t = 50 \text{ s}$ 'deki verileri kullanarak,

$$\begin{aligned} k &= \frac{\text{hız}}{[\text{Br}_2]} \\ &= \frac{3,52 \times 10^{-5} \text{ M/s}}{0,0101 \text{ M}} = 3,49 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

yazabiliriz. k 'yı hesaplamak için herhangi bir t değeri kullanılabilir. k için hesaplanan değerler Çizelge 13.1'de verilmektedir. Bu değerler arasındaki küçük farklar, deneysel hız ölçümlerindeki hatalardan kaynaklanmaktadır.

Daha sonra, verilen bir tepkime için k 'nın sadece sıcaklık değişiminden etkileneceğini göreceğiz.



Hidrojen Peroksitin Bozunması

Eğer bir tepkimede, tepken veya ürünlerden birisi gaz ise, tepkimenin hızını bulmak için manometre kullanabiliriz. 20°C’de hidrojen peroksitin bozunma tepkimesini ele alalım:



Burada, oksijenin oluşma hızının bir manometre ile ölçülmesi sayesinde hidrojen peroksitin bozunma hızı tayin edilebilir (Şekil 13.7). Ölçülen oksijen basıncı ideal gaz yasası kullanılarak basit bir şekilde derişime çevrilebilir:

$$PV = nRT$$

veya

$$P = \frac{n}{V} RT = [\text{O}_2]RT$$

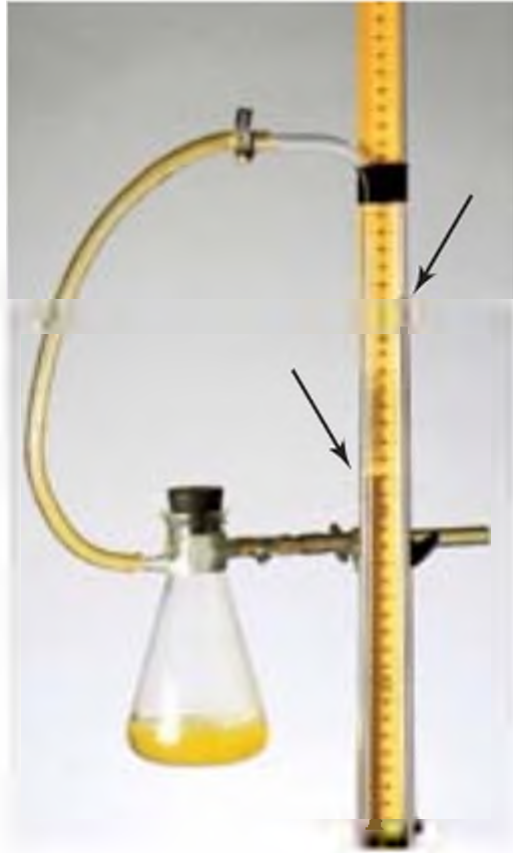
Burada n/V oksijen gazının molaritesidir(M). Eşitlik yeniden düzenlenirse,

$$[\text{O}_2] = \frac{1}{RT} P$$

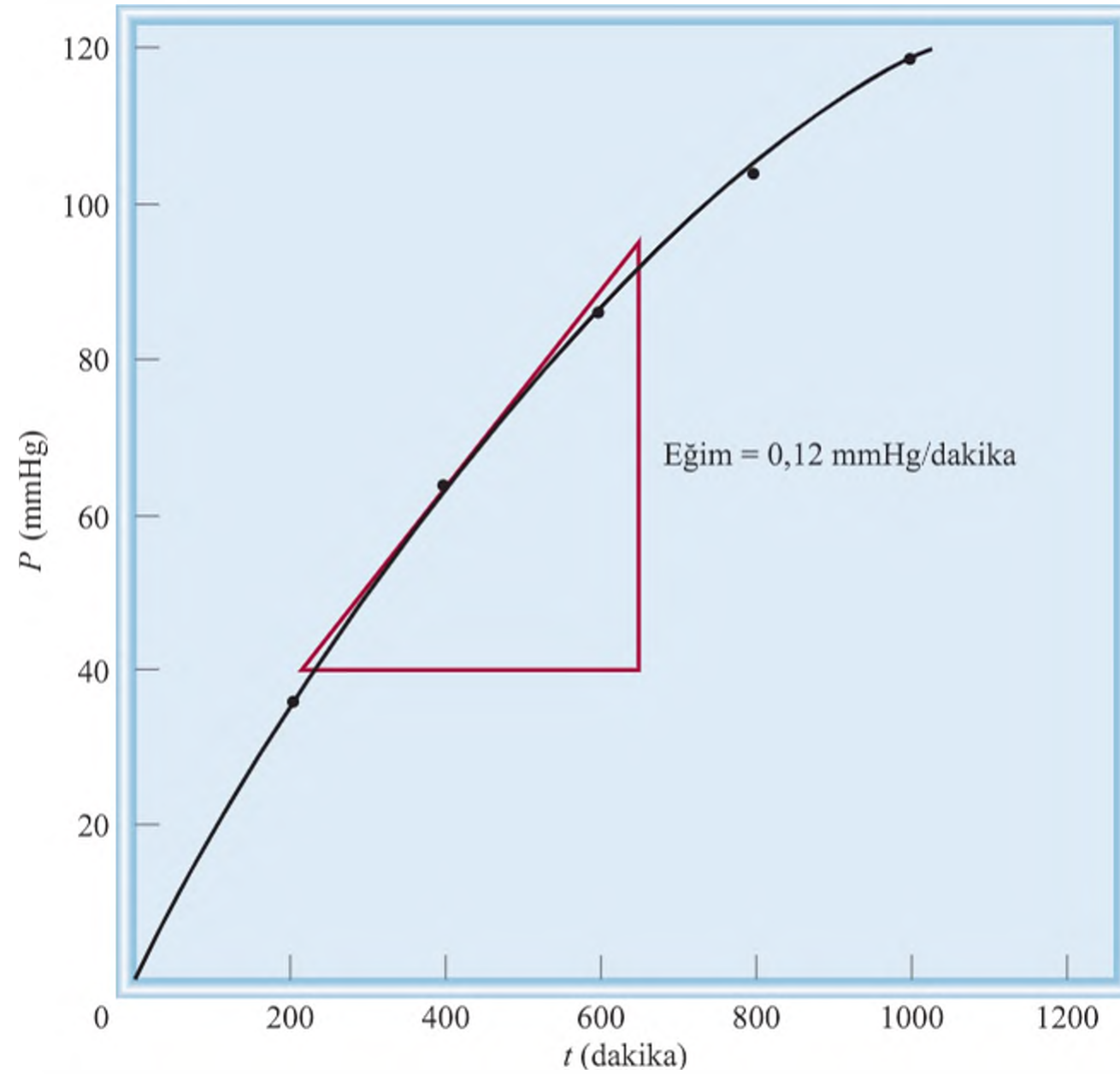
elde edilir. Oksijenin oluşma hızı şeklinde ifade edilen tepkime hızı, aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{hız} = \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{RT} \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Şekil 13.8, zamanla oksijen basıncının artışı ve 400. dakikadaki anlık hızın belirlenmesini göstermektedir. Hızı normal birimi olan M/s cinsinden ifade edebilmek için



Şekil 13.7 Hidrojen peroksitin bozunma hızı, oksijen gaz basıncının zamanla artışı gösteren bir manometre ile ölçülebilir. Şekildeki oklar U tüpündeki cıva seviyelerini göstermektedir.



Şekil 13.8 Hidrojen peroksitin bozunma tepkimesi için 400.dakikadaki anlık hız, teğetin eğiminin $1/RT$ ile çarpımından bulunur.

mmHg/dakika birimi, atm/s birimine çevrilir ve daha sonra verilen eşitlik uyarınca, teğetin eğimi($\Delta P/\Delta t$), $1/RT$ ile çarpılır.

Dönüşümden sonra, hız $1,1 \times 10^{-7} \text{ M/s}$ 'dir.

Tepkime Hızları ve Stokiyometri

$A \longrightarrow B$, şeklinde stokiyometrik olarak basit tepkimeler için, hızın ya tepken derişimindeki azalma yani $-\Delta[A]/\Delta t$ veya ürün derişimindeki artma yani $\Delta[B]/\Delta t$ şeklinde ifade edilebileceğini görmüştük. Daha karmaşık tepkimeler için hız ifadelerini yazarken dikkatli olmalıyız. Örneğin,



şeklindeki bir tepkimeyi ele alalım. Her bir mol B oluştuğunda, 2 mol A tükenir. Diğer bir deyişle, B'nin oluşma hızı A'nın kaybolma hızının yarısıdır. Buna göre hız şöyle ifade edilebilir:

$$\text{hız} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} \quad \text{veya} \quad \text{hız} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

Genel olarak,



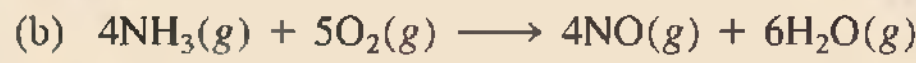
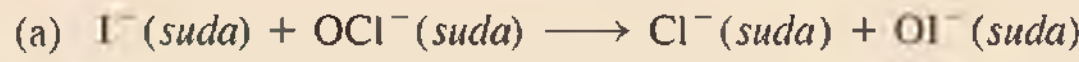
şeklinde yürüten bir tepkime için hızlar şöyle yazılır:

$$\text{hız} = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

Örnek 13.1 ve 13.2, hız ifadelerinin yazılmasını, ürün oluşum ve tepken harcama hızlarının hesaplanmasını göstermektedir.

Örnek 13.1

Aşağıdaki tepkimelerin hız ifadelerini tepkenlerin harcama ve ürünlerin oluşma hızları cinsinden yazınız:



İzlenecek Yol Tepkime hızlarını tepken ve ürün derişimlerinin zamanla değişimi cinsinden ifade etmek için, uygun bir işaret (eksi veya artı) ve stokiyometrik katsayıların tersini kullanmalıyız.

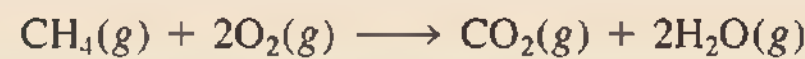
Çözüm (a) Bütün stokiyometrik katsayılar 1 olduğu için,

$$\text{hız} = -\frac{\Delta[\text{I}^-]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{OCl}^-]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{Cl}^-]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{OI}^-]}{\Delta t}$$

(b) Burada stokiyometrik katsayılar 4, 5, 4 ve 6 olduğu için,

$$\text{hız} = -\frac{1}{4} \frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t} = -\frac{1}{5} \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t}$$

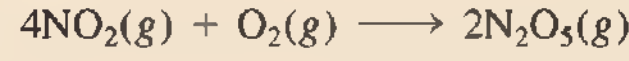
Alıştırma Aşağıdaki tepkimenin hız ifadelerini yazınız:



Benzer problemler: 13.5, 13.6.

Örnek 13.2

Aşağıdaki tepkimeyi ele alalım:



Tepkime sürerken belirli bir anda O_2 'nin 0.024 M/s hızla harcandığını kabul ederek (a) N_2O_5 'in oluşma hızını ve (b) NO_2 'nin harcanma hızını bulunuz.

İzlenecek Yol N_2O_5 'in oluşma hızı ve NO_2 'nin harcanma hızını bulabilmek için, Örnek 13.1'de olduğu gibi, tepkime hızını stokiyometrik katsayıları içerecek şekilde ifade etmemiz gerekir:

$$\text{hız} = -\frac{1}{4} \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t}$$

Soruda O_2 'nin harcanma hızı,

$$\frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = -0.024 \text{ M/s}$$

olarak verilmişti. Buradaki $-$ işareti O_2 derişiminin zamanla azaldığını göstermektedir.

Çözüm (a) Hız ifadesi

$$-\frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t}$$

şeklinde verildiğinden buna göre,

$$\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = -2(-0.024 \text{ M/s}) = 0.048 \text{ M/s}$$

(b) Burada ise:

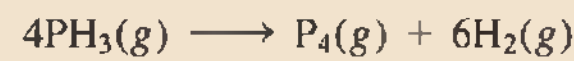
$$-\frac{1}{4} \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t}$$

Böylece,

$$\frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = 4(-0.024 \text{ M/s}) = -0.096 \text{ M/s}$$

Benzer problemler: 13.7, 13.8.

Alıştırma Aşağıdaki tepkimeye göre,



tepkiye sürerken belirli bir an için H_2 'nin 0.078 M/s hızla oluştuğunu kabul ederek a) P_4 'ün oluşma hızını ve b) PH_3 'ün harcanma hızını bulunuz.

Kavramların Değerlendirilmesi

Aşağıda gaz fazında yürüten bir tepkimenin hızı verilmiştir. Tepkimenin denkleştirilmiş eşitliğini yazınız.

$$\text{hız} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NOCl}]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{Cl}_2]}{\Delta t}$$

13.2 Hız Yasası

Şimdiye kadar bir tepkimenin hızının, tepkenlerin derişimleri ve hız sabiti olarak adlandırılan orantı sabiti k ile doğru orantılı olduğunu öğrendik. **Hız yasası**, bir tepkimenin hızının, hız sabitine ve tepkenlerin derişimlerinin kaçınıcı kuvvetine bağı olduğunu ifade eder. Genel bir tepkime için



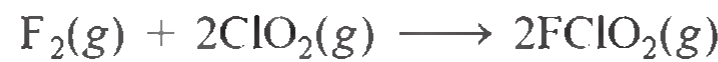
hız yasası şöyledir:

$$\text{hız} = k[A]^x[B]^y \quad (13.1)$$

x ve y deneysel olarak belirlenmesi gereken sayılardır. Genellikle, x ve y 'nin, stoki-yometrik katsayılar olan a ve b 'ye eşit *olmadığını* dikkat ediniz. x , y ve k değerlerini bilirsek verilen A, B derişimlerinden bir tepkimenin hızını Eşitlik 13.1'i kullanarak hesaplayabiliriz.

x ve y üsleri, A ve B tepkenlerinin derişimleri ile tepkime hızı arasındaki ilişkiyi belirtir. x ve y 'nin toplamı, *hız yasasında yer alan tüm tepken derişimlerinin üstel toplamı şeklinde* tanımlanan **tepkime derecesini** verir. Eşitlik 13.1'e göre, toplam tepkime derecesi $x + y$ 'dir. Diğer bir deyişle, tepkimenin A'nın x 'inci dereceden, B'nin y 'inci dereceden ve toplam olarak $(x + y)$ dereceden olduğunu söyleyebiliriz.

Bu tepkimenin hız yasasının nasıl bulunduğunu flor ve klor dioksit arasındaki tepkimeyi ele alarak görelim:

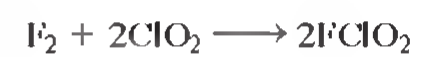
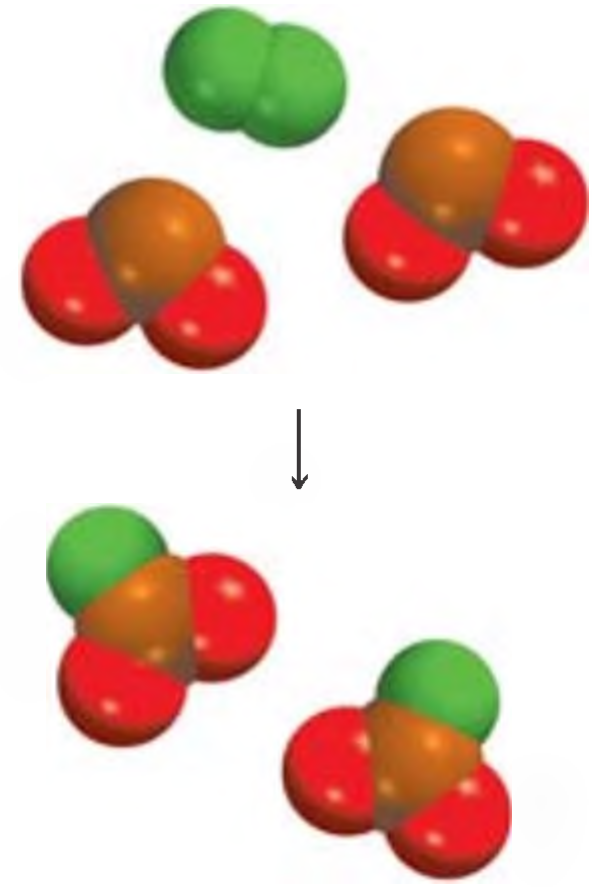


Tepken derişiminin tepkime hızına etkisini incelememin bir yolu, *başlangıç hızının*, başlangıç derişimlerine nasıl bağı olduğunu belirlemektir. Genellikle başlangıç hızının ölçülmesi tercih edilir, çünkü tepkime ilerledikçe tepken derişimleri azalacağından, hızdaki değışmeleri doğru bir şekilde saptamak zorlaşabilir. Ayrıca,



şeklindeki yürütyebilecek olan ters tepkimeler de hız ölçümlelerinde hata getirebilir. Bu iki sorun tepkimenin başlangıç aşamasında nadiren gözlenir.

$FClO_2$ 'nin oluşumu için ölçülen üç hız Çizelge 13.2'de gösterilmektedir. Çizelgedeki 1. ve 3. durumlara baktığımızda, $[ClO_2]$ derişimi sabit tutulup $[F_2]$ derişimi iki kat artırıldığında tepkime hızının iki kat arttığını görürüz. Yani hız $[F_2]$ ile doğru orantılıdır. Benzer şekilde 1. ve 2. durum verileri, $[F_2]$ derişimi sabit tutulup $[ClO_2]$ derişiminin dört kat artırılması ile hızın da dört kat arttığını gösterir. Yani hız, $[ClO_2]$



Çizelge 13.2 F_2 ve ClO_2 Arasındaki Tepkimenin Hız Verileri

$[F_2]$ (M)	$[ClO_2]$ (M)	Başlangıç Hızı (M/s)
1. 0,10	0,010	$1,2 \times 10^{-3}$
2. 0,10	0,040	$4,8 \times 10^{-3}$
3. 0,20	0,010	$2,4 \times 10^{-3}$

ile de doğru orantılıdır. Gözlemlerimizi, tepkimenin hız yasasını şu şekilde yazarak özetleyebiliriz:

$$\text{hız} = k[\text{F}_2][\text{ClO}_2]$$

$[\text{F}_2]$ ve $[\text{ClO}_2]$ 'nin her ikisinin de üsleri bir olduğundan, tepkime F_2 'ye göre birinci, ClO_2 'ye göre birinci ve toplamda ise $(1 + 1)$ yani ikinci dereceden bir tepkimedir. $[\text{ClO}_2]$ 'nin tepkime denklemindeki stokiometrik katsayısı 2 olmasına karşın, hız yasasındaki kuvvetinin 1 olduğuna dikkat etmeliyiz. Burada tesadüfen, F_2 'nin hem tepkime denklemindeki katsayısı 1 hem de tepkime derecesi birdir.

Tepken derişimlerini ve başlangıç hızını kullanarak hız sabitini de hesaplayabiliriz. Çizelge 13.2'de birinci sırada yer alan verileri kullanarak, şöyle yazabiliriz:

$$\begin{aligned} k &= \frac{\text{hız}}{[\text{F}_2][\text{ClO}_2]} \\ &= \frac{1,2 \times 10^{-3} \text{ M/s}}{(0,10 \text{ M})(0,010 \text{ M})} \\ &= 1,2/\text{M} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Tepkime derecesi, tepken derişimlerine tepkime hızının nasıl bağlı olduğunu anlayabilmemizi sağlar. Örneğin, $a\text{A} + b\text{B} \longrightarrow c\text{C} + d\text{D}$ şeklinde yürüten bir tepkime için $x = 1$ ve $y = 2$ olduğunu varsayalım. Buna göre, bu tepkimenin hız yasası veya hız ifadesi [bak. Eşitlik (13.1)] şöyle olacaktır:

$$\text{hız} = k[\text{A}][\text{B}]^2$$

Tepkime A'ya göre birinci dereceden, B'ye göre ikinci dereceden ve toplamda üçüncü derecedendir ($1 + 1 + 2 = 3$). Farz edelim başlangıçta $[\text{A}] = 1,0 \text{ M}$ ve $[\text{B}] = 1,0 \text{ M}$ olsun. Tepkimenin hız ifadesi bize, eğer $[\text{B}]$ 'yi sabit tutup A'nın derişimini $1,0 \text{ M}$ dan $2,0 \text{ M}$ a çıkarırsak, tepkime hızının da iki kat artacağını söyler:

$$\begin{aligned} [\text{A}] &= 1,0 \text{ M için} & \text{hız}_1 &= k(1,0 \text{ M})(1,0 \text{ M})^2 \\ & & &= k(1,0 \text{ M}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{A}] &= 2,0 \text{ M için} & \text{hız}_2 &= k(2,0 \text{ M})(1,0 \text{ M})^2 \\ & & &= k(2,0 \text{ M}^3) \end{aligned}$$

$$\text{Dolayısıyla,} \quad \text{hız}_2 = 2(\text{hız}_1)$$

Diğer yandan, $[\text{A}]$ sabit kalırken B'nin derişimini $1,0 \text{ M}$ dan $2,0 \text{ M}$ a çıkarırsak, tepkimenin hızı üstteki 2'den dolayı dört kat artar.

$$\begin{aligned} [\text{B}] &= 1,0 \text{ M için} & \text{hız}_1 &= k(1,0 \text{ M})(1,0 \text{ M})^2 \\ & & &= k(1,0 \text{ M}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{B}] &= 2,0 \text{ M için} & \text{hız}_2 &= k(1,0 \text{ M})(2,0 \text{ M})^2 \\ & & &= k(4,0 \text{ M}^3) \end{aligned}$$

$$\text{Dolayısıyla,} \quad \text{hız}_2 = 4(\text{hız}_1)$$

Eğer herhangi bir tepkime için $x = 0$, $y = 1$ ise hız yasası,

$$\begin{aligned} \text{hız} &= k[\text{A}]^0[\text{B}] \\ &= k[\text{B}] \text{ dir.} \end{aligned}$$

Bu tepkime A'ya göre sıfırıncı dereceden, B'ye göre birinci dereceden ve toplam olarak da birinci derecedendir. Sıfır tıs, bize tepkime hızının A'nın derişiminden *bağımsız* olduğunu söyler. Tepkime dereceleri kesirli de olabilir.

Hız yasası ile ilgili değerlendirmelerimizi aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

1. Hız yasası daima deneysel yoldan belirlenir. Tepken derişimlerinden ve tepkime başlangıç hızlarından, tepkime derecesini ve sonra da tepkime hız sabitini saptayabiliriz.
2. Tepkime derecesi daima tepken (ürün değil) derişimi ile tanımlanır.
3. Hız yasasında yer alan tepken derişiminin üssü, stokiyometrik eşitlikteki katsayısı ile bağlantılı değildir.

Bir tepkimenin hız yasasının bulunması Örnek 13.3'de gösterilmektedir.

Örnek 13.3

1280°C'de azot monoksit hidrojenle tepkimeye giriyor.



Bu sıcaklıkta aşağıda elde edilen verilere göre, (a) hız yasasını (b) hız sabitini ve c) $[\text{NO}] = 12.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ ve $[\text{H}_2] = 6.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ olduğunda tepkime hızını bulunuz.

Deney	$[\text{NO}] \text{ (M)}$	$[\text{H}_2] \text{ (M)}$	Başlangıç hızı (M/s)
1	5.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.3×10^{-5}
2	10.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	5.0×10^{-5}
3	10.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	10.0×10^{-5}

İzlenecek Yol Bize bir seri derişim ve tepkime hızı verilmiş, hız yasası ile hız sabitini bulmanız istenmiştir. Hız yasasını,

$$\text{hız} = k[\text{NO}]^x[\text{H}_2]^y$$

şeklinde ifade edelim. Acaba x ve y 'yi bulmak için bu verileri nasıl kullanmalıyız?

Tepkenlerin derecesini bulabilirsek çizelgedeki her hangi bir hız deneyinden k 'yı hesaplayabiliriz. Daha sonra hız yasası ile herhangi bir NO ve H_2 derişimindeki hızı bulabiliriz.

Çözüm (a) Deney 1 ve 2, H_2 derişimini sabit tutup NO derişimini iki kat artırdığımızda hızın yaklaşık dört kat arttığını göstermektedir. Bu iki deneyde belirlenen hızları birbirine aşağıdaki gibi oranlayabiliriz.

$$\frac{\text{hız}_2}{\text{hız}_1} = \frac{5.0 \times 10^{-5} \text{ M/s}}{1.3 \times 10^{-5} \text{ M/s}} \approx 4 = \frac{k(10.0 \times 10^{-3} \text{ M})^x(2.0 \times 10^{-3} \text{ M})^y}{k(5.0 \times 10^{-3} \text{ M})^x(2.0 \times 10^{-3} \text{ M})^y}$$

Böylece,

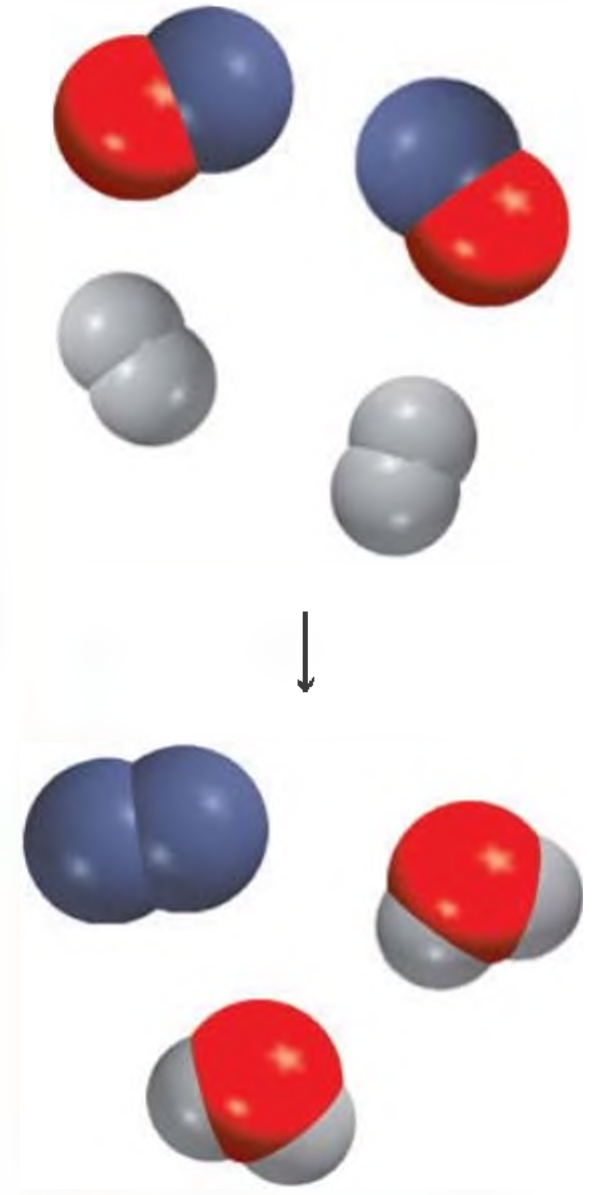
$$\frac{(10.0 \times 10^{-3} \text{ M})^x}{(5.0 \times 10^{-3} \text{ M})^x} = 2^x = 4$$

yani, $x = 2$ bulunur. Buna göre tepkime NO'ya göre ikinci derecedendir. Deney 2 ve 3; NO derişimini sabit tutulup H_2 derişimini iki kat artırdığımızda hızında iki kat arttığını göstermektedir. Aynı şekilde hız oranlarını şöyle yazarız:

$$\frac{\text{hız}_3}{\text{hız}_2} = \frac{10.0 \times 10^{-5} \text{ M/s}}{5.0 \times 10^{-5} \text{ M/s}} = 2 = \frac{k(10.0 \times 10^{-3} \text{ M})^x(4.0 \times 10^{-3} \text{ M})^y}{k(10.0 \times 10^{-3} \text{ M})^x(2.0 \times 10^{-3} \text{ M})^y}$$

(Devamı)

Sıfırıncı derece demek, hız sıfırdır demek değildir. Sıfırıncı derece demek sadece, hız A'nın derişiminden bağımsızdır demektir.



Böylece,

$$\frac{(4,0 \times 10^{-3} M)^p}{(2,0 \times 10^{-3} M)^p} = 2^p = 2$$

yani, $p = 1$ bulunur. Buna göre tepkime H_2 'ye göre birinci derecedendir. Hız yasası,

$$\text{hız} = k[\text{NO}]^2[\text{H}_2]$$

şeklinde verilir. Toplam tepkime derecesinin $(2 + 1)$, yani üçüncü dereceden olduğu görülmektedir.

- (b) Hız sabiti k , herhangi bir deney serisinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanabilir. Hız ifadesini yeniden düzenleyelim:

$$k = \frac{\text{hız}}{[\text{NO}]^2[\text{H}_2]}$$

2 numaralı deney verilerinden,

$$\begin{aligned} k &= \frac{5,0 \times 10^{-5} M/s}{(10,0 \times 10^{-3} M)^2(2,0 \times 10^{-3} M)} \\ &= 2,5 \times 10^2 / M^2 \cdot s \end{aligned}$$

- (c) Hız sabitini ve verilen NO ve H_2 derişimlerini kullanarak hızı hesaplayabiliriz.

$$\begin{aligned} \text{hız} &= (2,5 \times 10^2 / M^2 \cdot s)(12,0 \times 10^{-3} M)^2(6,0 \times 10^{-3} M) \\ &= 2,2 \times 10^{-4} M/s \end{aligned}$$

Yorum H_2 'nin tepkimedeki stokiyometrik katsayısı 2 olmasına karşın, tepkimenin H_2 'ye göre birinci dereceden olduğuna dikkat ediniz. Bir tepkenin derecesi, toplu denkleştirilmiş eşitlikteki tepkenin stokiyometrik katsayısından bağımsızdır.

Alıştırma Peroksidisülfat ($S_2O_8^{2-}$) iyonu ile iyodür iyonu (I^-) arasındaki verilen tepkime için.



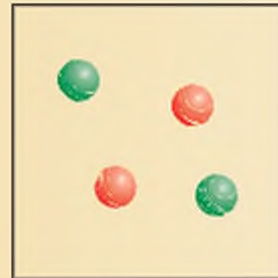
belirli bir sıcaklıkta elde edilen aşağıdaki verilerden hız yasasını belirleyiniz ve hız sabitini hesaplayınız.

Deney	$[S_2O_8^{2-}] (M)$	$[I^-] (M)$	Başlangıç Hız(M/s)
1	0,080	0,034	$2,2 \times 10^{-4}$
2	0,080	0,017	$1,1 \times 10^{-4}$
3	0,16	0,017	$2,2 \times 10^{-4}$

Benzer problem: 13.15.

Kavramların Değerlendirilmesi

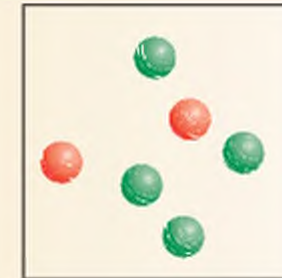
(a)–(c) çizimleri ile gösterilen, “ $2A + B \longrightarrow \text{ürünler}$ ” tepkimesinin bağıl hızları 1:2:4'dür. Kırmızı küreler A moleküllerini, yeşil küreler ise B moleküllerini temsil etmektedir. Bu tepkime için hız yasasını yazınız.



(a)



(b)



(c)

13.3 Tepken Derişimleri ile Zaman Arasındaki İlişki

Hız yasası ifadeleri hız sabiti ve tepken derişimlerini kullanarak, tepkime hızını hesaplayabilmemizi sağlar. Hız yasası, tepkime devam ederken herhangi bir andaki tepken derişimini hesaplamakta da kullanılabilir. Bu uygulamanın nasıl yapıldığını en bilinen iki hız yasası üzerinden gösterelim. Bunlardan ilki birinci dereceden, diğeri ise ikinci dereceden hız tepkimeleridir.

Birinci Dereceden Tepkimeler

Birinci dereceden bir tepkimede, hız tepken derişiminin birinci kuvvetine bağlıdır.



tipindeki birinci dereceden bir tepkimenin hızı:

$$\text{hız} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

dir. Hız yasasına göre,

$$\text{hız} = k[A]$$

olduğunu biliyoruz. Buradan hız sabiti k 'nın birimini aşağıdaki gibi bulabiliriz:

$$k = \frac{\text{hız}}{[A]} = \frac{M/s}{M} = 1/s \text{ ya da } s^{-1}$$

İlk iki eşitliği bir araya getirerek birbirine eşitleyebiliriz.

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k[A] \quad (13.2)$$

Matematik bilginizi kullanarak Eşitlik (13.2)'yi aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt \quad (13.3)$$

Bu eşitlikte \ln doğal logaritma, $[A]_0$ ve $[A]_t$ ise sırasıyla $t = 0$ ve $t = t$ iken A'nın derişimleridir. $t = 0$ deneyin tam başladığı an olmayabilir. A'nın derişimindeki değişimi izlemeye başladığımız herhangi bir an $t = 0$ olarak alınabilir.

Eşitlik (13.3) aşağıdaki gibi tekrar düzenlenebilir:

$$\ln [A]_t = -kt + \ln [A]_0 \quad (13.4)$$

Eşitlik (13.4), $y = mx + b$ doğru denklemine uyar. Bu eşitlikte doğrunun eğimi m 'dir.

$$\begin{array}{ccccccc} \ln [A]_t & = & (-k)(t) & + & \ln [A]_0 \\ \updownarrow & & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow \\ y & = & m & x & + & b \end{array}$$

Eşitlik (13.2)'nin diferansiyeli şöyledir:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

Yukandaki eşitlik yeniden düzenlenirse:

$$\frac{d[A]}{[A]} = -kdt$$

$t = 0$ ve $t = t$ arasında integrali alınırsa:

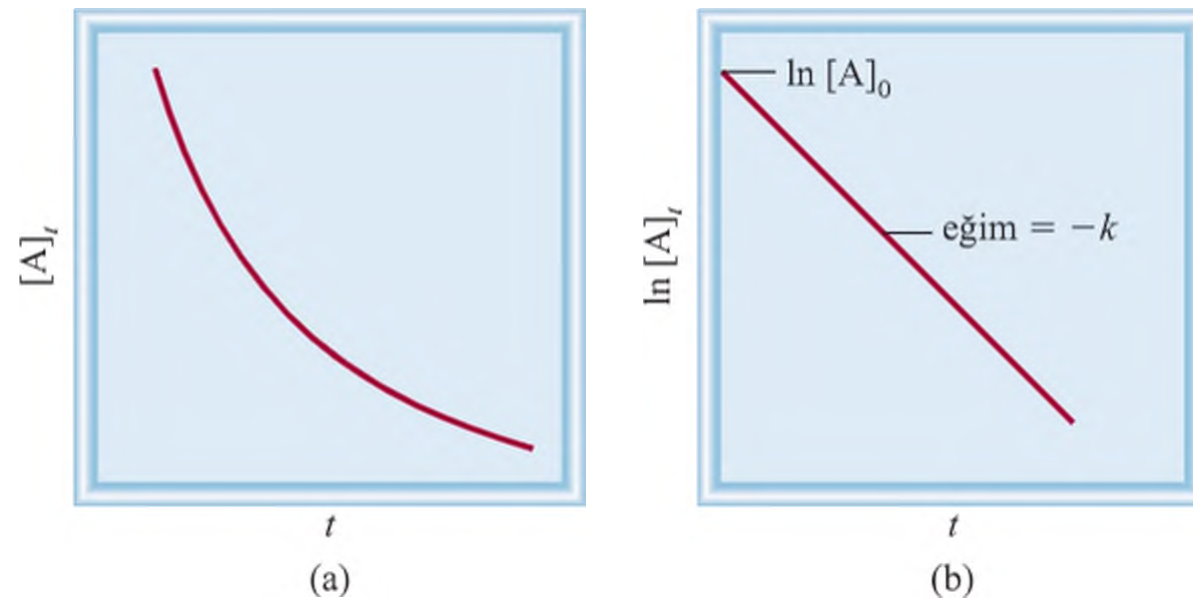
$$\int_{[A]_0}^{[A]_t} \frac{d[A]}{[A]} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln [A]_t - \ln [A]_0 = -kt$$

veya

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt$$

Şekil 13.9 Birinci dereceden bir tepkimenin karakteristik özellikleri: (a) tepken derişiminin zamanla üstel azalması (b) $\ln[A]_t$ 'ye karşı t grafiğı. Doğrunun eğimi $-k$ 'dir.

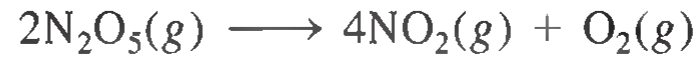


Şekil 13.9'ı ele alalım. Beklendiğı gibi, tepkime devam ederken tepken A'nın derişimi zamanla azalır [Şekil 13.9 (a)]. Birinci dereceden bir tepkime için, $\ln[A]$ 'ya karşı t grafiğini çizersek (y 'ye karşı x), eğimi $-k$ 'ya, kesim noktası da $\ln[A]_0$ 'a eşit olan bir doğru elde ederiz [Şekil 13.9 (b)]. Böylece bu doğrunun eğiminden hız sabitini hesaplayabiliriz.

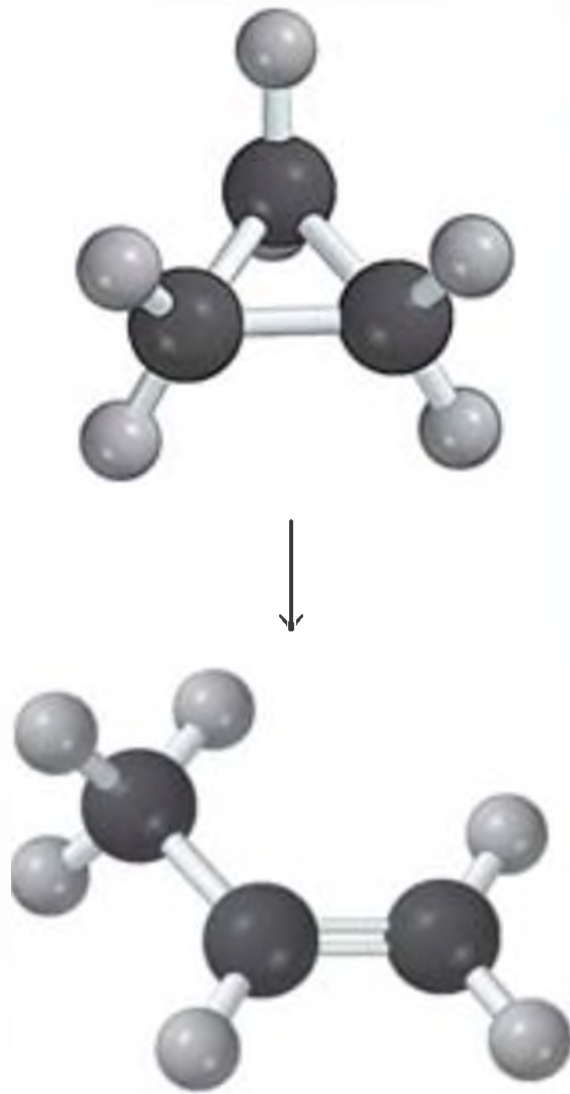
Pek çok birinci dereceden tepkime vardır. Örneğın etanın (C_2H_6), çok reaktif metil radikallerine (CH_3) bozunma tepkimesi:



N_2O_5 'in bozunma tepkimesi de birinci dereceden bir tepkimedir.

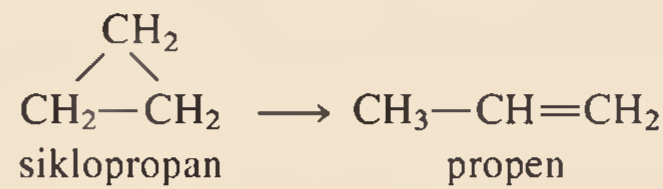


Eşitlik 13.3'ün uygulamasını Örnek 13.4'deki organik tepkimede göreceğiz.



Örnek 13.4

Gaz fazında siklopropanın propene dönüşmesi birinci dereceden bir tepkimedir ve 500 °C'deki hız sabiti $6,7 \times 10^{-4} s^{-1}$ dir.



- (a) Eğer siklopropanın başlangıç derişimi 0.25 M ise 8,8 dakika sonraki derişimi nedir?
 (b) Siklopropan derişiminin 0.25 M'dan 0.15 M'a inmesi ne kadar süre alır (dakika olarak)?
 (c) Başlangıçtaki maddenin %74'ünün ürüne dönüşmesi için kaç dakika gerekir?

İzlenecek Yol Birinci dereceden bir tepkimede tepken derişimi ile zaman arasındaki ilişki Eşitlik (13.3) veya (13.4)'de verilmektedir. Sorunun (a) şıkkında $[A]_0 = 0.25 M$ verilerek 8,8 dakika sonraki $[A]_t$ sorulmaktadır. (b) şıkkında siklopropan derişiminin 0.25 M'dan 0.15 M'a inmesi için geçen süreyi hesaplamamız istenmektedir. (c) şıkkında hiçbir derişim değeri verilmemiştir. Başlangıçta % 100 olan bileşiğın eğer %74'ü tepkimeye girmişse, geriye %26'sı ($\%100 - \%74$) kalmış olmalıdır. Dolayısıyla yüzde oranları gerçek derişim oranlarına eşit alınabilir. Yani, $[A]_t/[A]_0 = \%26/\%100$ ya da 0,26/1,00'dir.

(Devamı)

Çözüm (a) Eşitlik (13.4)'ü kullanırken k 'nın biriminin s^{-1} olduğuna dikkat etmemiz gerekir. Önce 8.8 dakikayı saniyeye çevirmeliyiz:

$$8,8 \text{ dakika} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dakika}} = 528 \text{ s}$$

Buna göre şöyle yazarız:

$$\begin{aligned} \ln [A]_t &= -kt + \ln [A]_0 \\ &= -(6,7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1})(528 \text{ s}) + \ln (0,25) \\ &= -1,74 \end{aligned}$$

Buradan, $[A]_t = e^{-1,74} = 0,18 \text{ M}$

Birimlerin logaritmasını alamadığınızdan $\ln[A]_0$ teriminde $[A]_0$ birimsiz olarak (0,25) ifade edilmiştir.

(b) Eşitlik (13.3)'ü kullanarak,

$$\begin{aligned} \ln \frac{0,15 \text{ M}}{0,25 \text{ M}} &= -(6,7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1})t \\ t &= 7,6 \times 10^2 \text{ s} \times \frac{1 \text{ dakika}}{60 \text{ s}} \\ &= 13 \text{ dakika} \end{aligned}$$

(c) Eşitlik (13.3)'den,

$$\begin{aligned} \ln \frac{0,26}{1,00} &= -(6,7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1})t \\ t &= 2,0 \times 10^3 \text{ s} \times \frac{1 \text{ dakika}}{60 \text{ s}} = 33 \text{ dakika} \end{aligned}$$

Alıştırma $2A \longrightarrow B$ tepkimesi A'ya göre birinci derecedendir ve 80°C 'de hız sabiti $2,8 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dir. A'nın derişiminin $0,88 \text{ M}$ dan $0,14 \text{ M}$ a düşmesi ne kadar zaman (saniye olarak) alır?

Şimdi de grafik yöntemiyle 45°C 'de diazot pentaoksitin (N_2O_5) karbon tetraklorür (CCl_4) çözücüsündeki bozunma tepkimesinin tepkime derecesini ve hız sabitini bulalım:

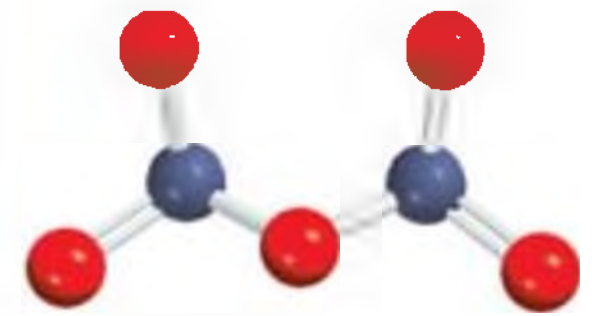


Aşağıdaki çizelgede N_2O_5 derişimlerinin zamanla değişimi ve $\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$ değerleri verilmektedir.

t (s)	$[\text{N}_2\text{O}_5]$ (M)	$\ln [\text{N}_2\text{O}_5]$
0	0,91	-0,094
300	0,75	-0,29
600	0,64	-0,45
1200	0,44	-0,82
3000	0,16	-1,83

Eşitlik (13.4)'ü uygulayarak t 'ye karşı $\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$ değerlerini Şekil 13.10'da gösterildiği gibi grafiğe alırız. Noktaların bir doğru oluşturması, hız yasasının birinci derece-

Berzer problem: 13.94.

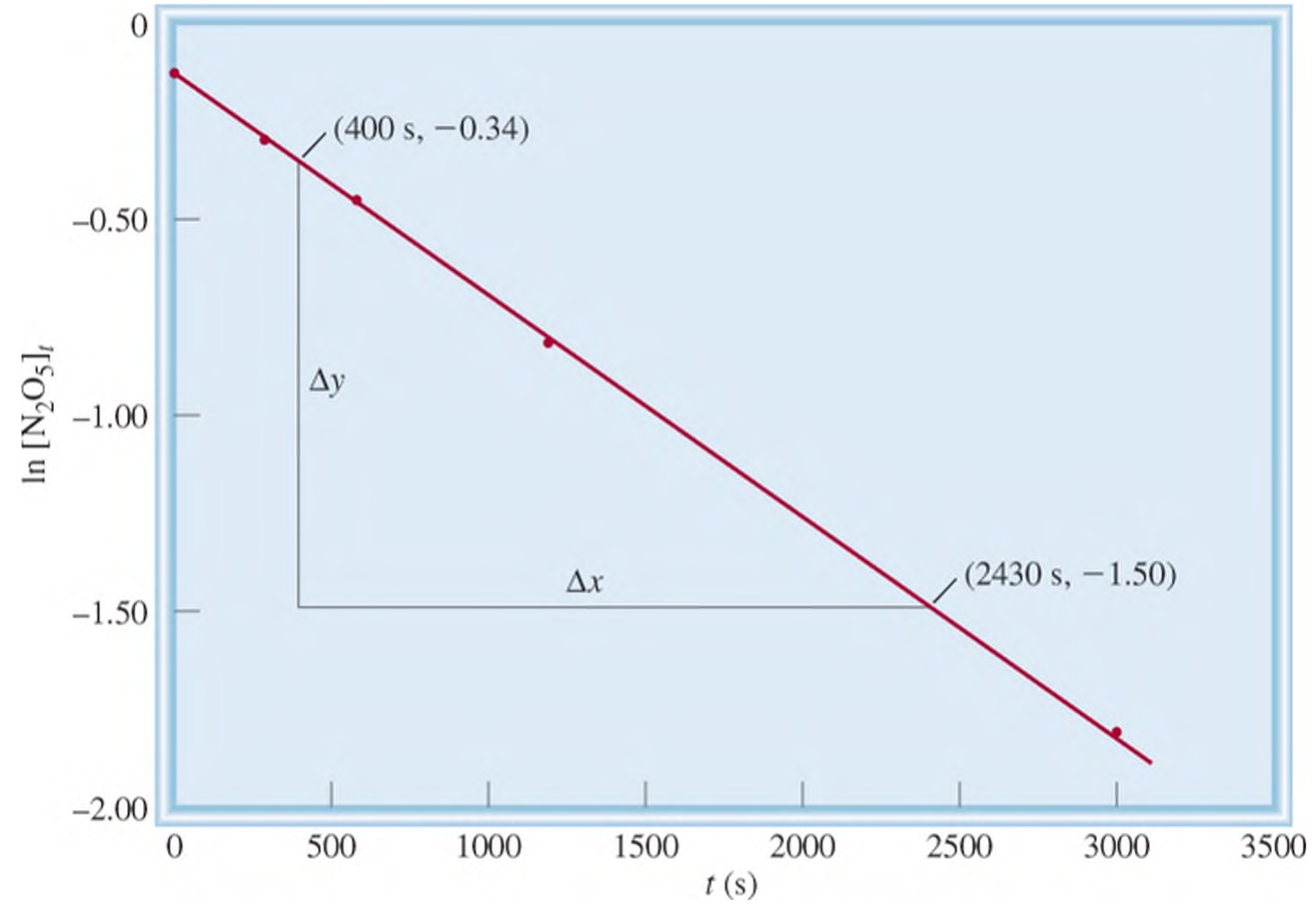


N_2O_5



N_2O_5 bileşiği NO_2 (kahverengi) vererek bozunur.

Şekil 13.10 $\ln [N_2O_5]_t$ 'in t 'ye karşı grafiği. Hız sabiti doğrunun eğiminden hesaplanabilir.



den olduğunu gösterir. Doğrunun eğiminden hız sabitini bulabiliriz. Bunun için doğru üzerinde birbirinden uzak iki nokta seçer ve bu noktalara ait y ile x değerlerinden eğimi hesaplarız.

$$\begin{aligned} \text{eğim } (m) &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ &= \frac{-1,50 - (-0,34)}{(2430 - 400) \text{ s}} \\ &= -5,7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

$m = -k$ olduğundan $k = 5,7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ değeri bulunur.

Gaz fazında yürüten tepkimeler için Eşitlik 13.3'deki derişim ifadesini gaz tepkenin basıncı ile değişebiliriz. Birinci dereceden yürüten



tepkimesini ele alalım. İdeal gaz eşitliğini kullanarak,

$$PV = n_{\Lambda}RT$$

veya

$$\frac{n_{\Lambda}}{V} = [A] = \frac{P}{RT}$$

yazarız. Eşitlik (13.3)'teki $[A]$ yerine $[A] = P/RT$ yazarsak

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = \ln \frac{P_t/RT}{P_0/RT} = \ln \frac{P_t}{P_0} = -kt$$

elde ederiz. Eşitlik (13.4)'e benzer şekilde

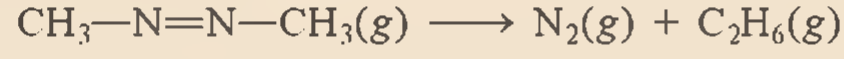
$$\ln P_t = -kt + \ln P_0 \quad (13.5)$$

eşitliği ortaya çıkar.

Birinci dereceden bir tepkimenin kinetiğini incelerken basınç ölçümlemlerini nasıl kullanacağımız Örnek 13.5’de gösterilmektedir.

Örnek 13.5

Azometanın ($C_2H_6N_2$) bozunma hızı, tepken basıncının zamanla değişimi takip edilerek incelenmiştir.



300°C’de elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede görülmektedir.

Zaman (s)	Azometanın Kısmi Basıncı (mmHg)
0	284
100	220
150	193
200	170
250	150
300	132

Bu değerler birinci dereceden kinetiğe uyar mı? Eğer uyarsa hız sabitini bulunuz.

İzlenecek Yol Birinci dereceden kinetiğe uyup uymadığını belirlemek için, Eşitlik (13.4)’deki, birinci derece integrali alınmış hız ifadesini kullanacağız.

$$\ln [A]_t = -kt + \ln [A]_0$$

Eğer tepkime birinci dereceden ise, $\ln[A]_t$ ’ye karşı t grafiği (y ’ye karşı x), eğimin $-k$ ’ya eşit olduğu bir doğru verecektir. Azometanın herhangi bir andaki kısmi basıncının, mol / litre cinsinden derişimi ile doğru orantılı olduğuna dikkat ediniz. ($PV = nRT$, yani $P \propto n/V$). Bu nedenle derişim yerine kısmi basıncı koyarız [Eşitlik (13.5)]:

$$\ln P_t = -kt + \ln P_0$$

burada P_0 ve P_t azometanın $t = 0$ ve $t = t$ anlarındaki kısmi basınçlarıdır.

Çözüm Önce $\ln P_t$ ’ye karşı t değerlerini alarak aşağıdaki çizelgeyi oluştururuz.

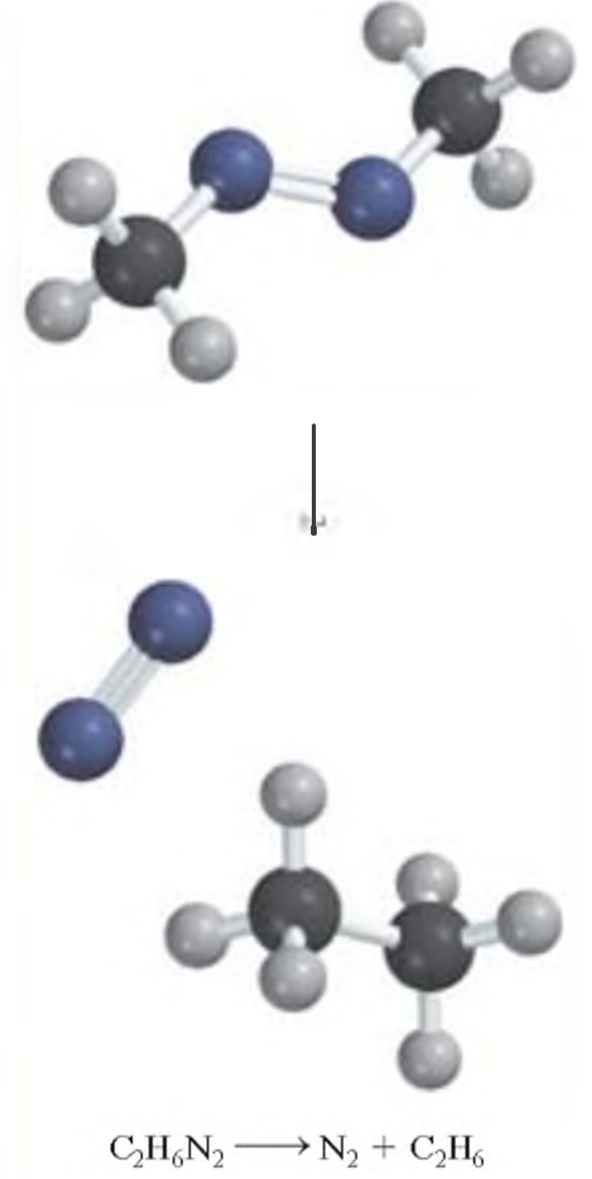
t (s)	$\ln P_t$
0	5,649
100	5,394
150	5,263
200	5,136
250	5,011
300	4,883

Çizelgedeki verilere göre Şekil 13.11 oluşturulmuş olup, t ’ye karşı $\ln P_t$ grafiğinin bir doğru verdiği görülür. Yani tepkime birinci dereceden yürümektedir. Doğrunun eğimi:

$$\text{eğim} = \frac{5,05 - 5,56}{(233 - 33) \text{ s}} = -2,55 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

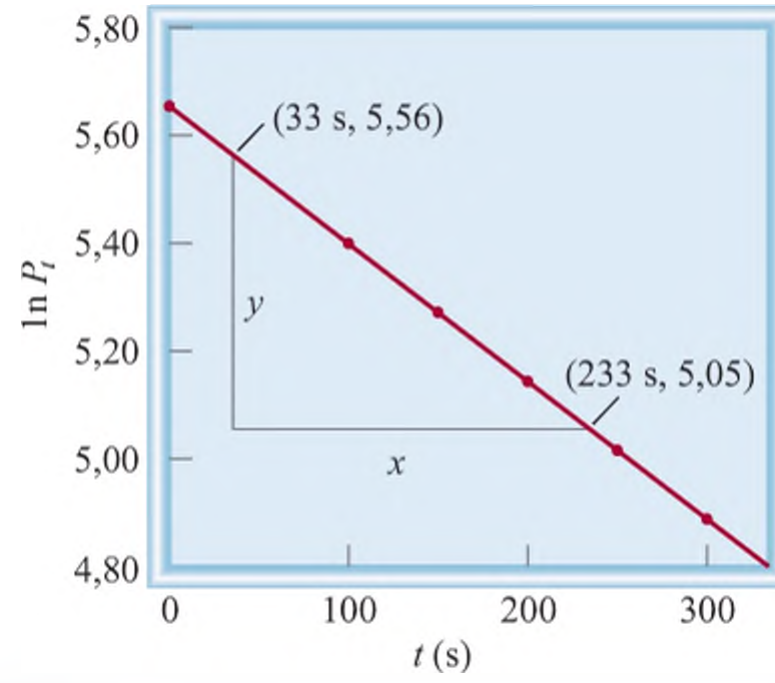
Eşitlik (13.4)’e göre eğim $-k$ ’ya eşittir. Yani $k = 2,55 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ’tür.

(Devamı)

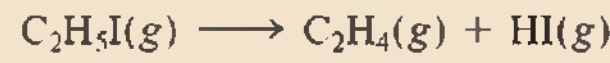


Benzer problemler: 13.19, 13.20.

Şekil 13.11 Azometanın bozunma tepkimesi için zamana karşı $\ln P_t$ grafiği



Alıştırma Etilyodür (C_2H_5I) gaz fazında belirli bir sıcaklıkta aşağıdaki tepkimeye göre bozunur:



Aşağıdaki verilerden tepkimenin derecesini ve hız sabitini bulunuz.

Zaman (dakika)	$[C_2H_5I]$ (M)
0	0,36
15	0,30
30	0,25
48	0,19
75	0,13

Tepkime Yarı-ömrü

Tepkime ilerledikçe, tepken derişimleri azalır. Bir tepkimenin hızını ölçmenin diğer bir yolu, derişimle zamanı ilişkilendirmektir. Bir tepkimenin **yarı ömrü** ($t_{1/2}$) tepkenin başlangıç derişiminin yarıya düşmesi için gerekli süredir. Birinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrünü $t_{1/2}$ aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz. Eşitlik (13.3), t için yeniden düzenlenirse:

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

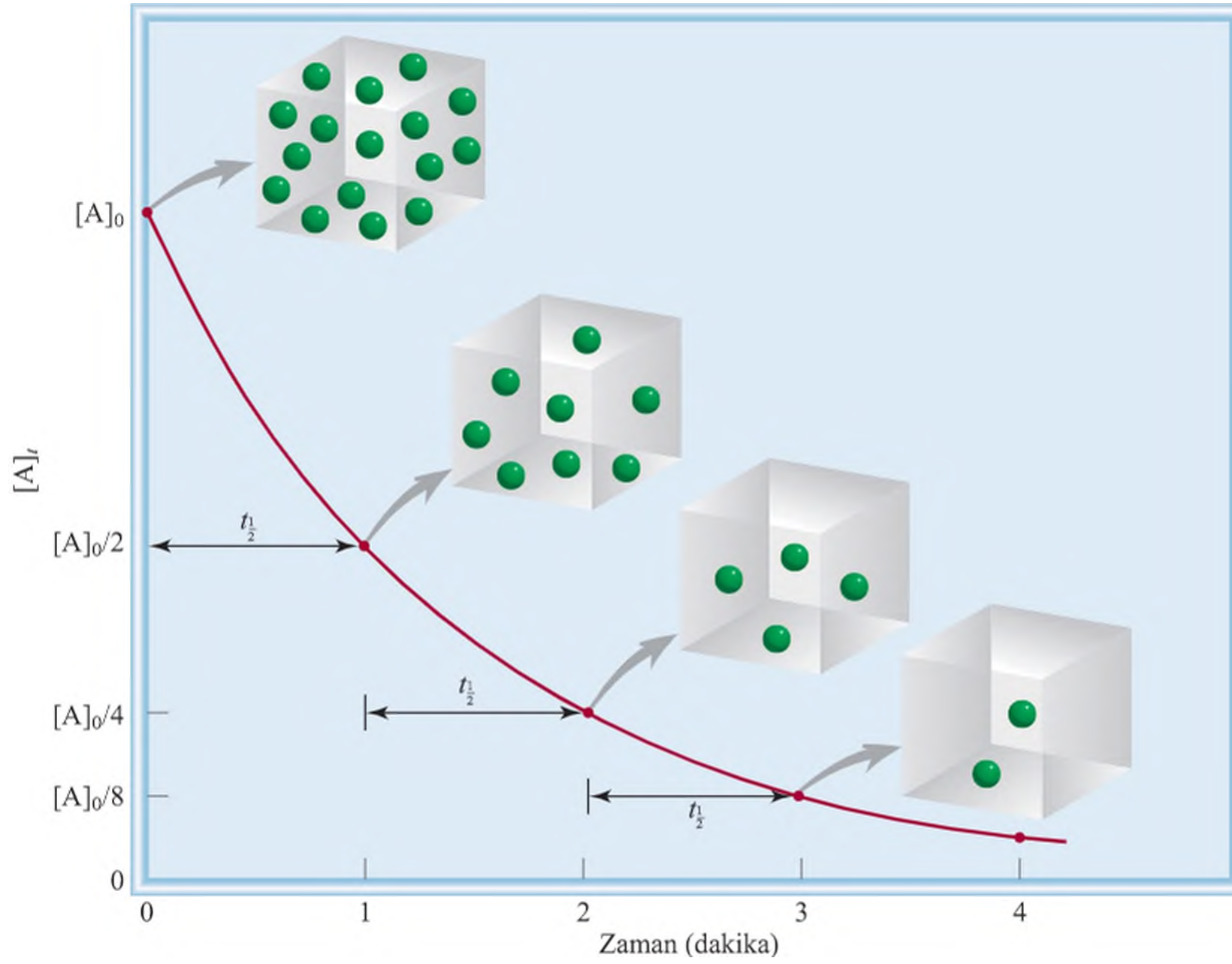
Yarı ömür tanımına göre $t = t_{1/2}$ olduğundan, $[A]_t = [A]_0/2$ olup yukarıdaki eşitlikte yerine konulursa,

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{[A]_0}{[A]_0/2}$$

veya,

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln 2 = \frac{0,693}{k} \quad (13.6)$$

olur. Eşitlik (13.6), birinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrünün, tepkenin başlangıç derişimlerinden *bağımsız* olduğunu göstermektedir. Buna göre, tepkenin 1,0 M'dan 0,50 M'a inmesi için geçen süre ile 0,10 M'dan 0,050 M'a inmesi için geçen süre



Şekil 13.12 "A → ürünler" şeklindeki birinci dereceden bir tepkime. $[A]_0$ 'ye karşı zaman grafiğinden de görüldüğü gibi tepkimenin yarı ömrü 1 dakikadır. Her bir yarılanma süresi sonunda A'nın değişimi yarıya iner.

aynıdır. (Şekil 13.12). Birinci dereceden bir tepkimenin sadece yarı ömrünü ölçerek tepkime hız sabitini bulabiliriz.

Eşitlik (13.6)'yı anlamaya şu benzetme yardımcı olabilir. Bir yüksek okulda öğrencilerin eğitim süresi dört yıl ise okuldaki yarı ömürleri iki yıl olacaktır. Bu yarı ömür öğrencilerin sayısından bağımsızdır. Benzer şekilde, birinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrü de derişimden bağımsızdır.

$t_{1/2}$ kavramının kullanışlı yanı, hız sabiti değerinin büyüklüğü hakkında da bize bir fikir vermesidir (daha kısa yarı ömür, daha büyük k demektir). Örneğin, nükleer tıpta kullanılan iki radyoaktif izotopu ele alalım: ^{24}Na ($t_{1/2} = 14,7$ saat) ve ^{60}Co ($t_{1/2} = 5,3$ yıl). Daha kısa yarı ömre sahip olduğu için ^{24}Na izotopunun daha hızlı bozunacağı açıktır. Eğer başlangıçta her iki izotoptan da 1'er mol alırsak bir hafta içerisinde ^{60}Co 'dan oldukça büyük miktar arta kalırken ^{24}Na 'nın çoğu yok olacaktır.

Örnek 13.6'da birinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrünü hesaplayacağız.

Örnek 13.6

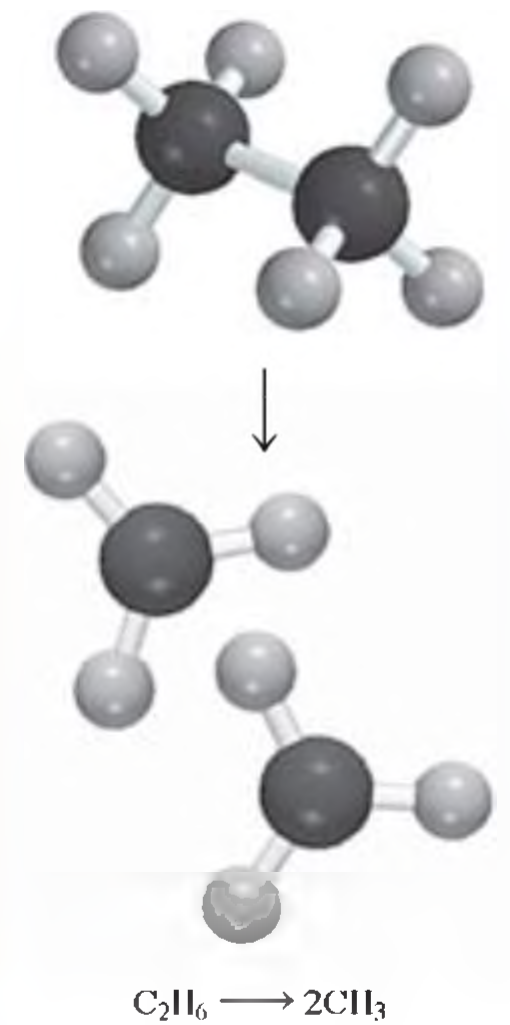
Etanın (C_2H_6), metil radikallerine parçalanması birinci dereceden bir tepkimedir ve 700°C 'de hız sabiti $5,36 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ dir.



Tepkimenin yarı ömrünü dakika olarak bulunuz.

İzlenecek Yol Birinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrünü bulmak için Eşitlik 13.6'yı kullanırız. Yarı ömrünü dakika cinsinden ifade edebilmek için bir birim çevirmesi gerekir.

(Devamı)



Çözüm Birinci dereceden tepkimelerde, tepkimenin yarı ömrünü hesaplamak için sadece hız sabiti yeterlidir. Eşitlik (13.6)'dan

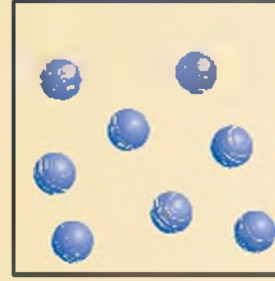
$$\begin{aligned} t_{\frac{1}{2}} &= \frac{0,693}{k} \\ &= \frac{0,693}{5,36 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}} \\ &= 1,29 \times 10^3 \text{ s} \times \frac{1 \text{ dakika}}{60 \text{ s}} \\ &= 21,5 \text{ dakika} \end{aligned}$$

Benzer problem: 13.26.

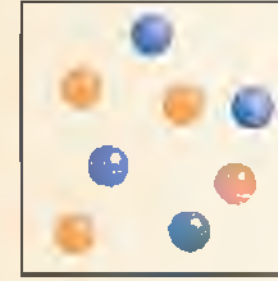
Alıştırma Sayfa 579'da incelenen N_2O_5 'in parçalanma tepkimesinin yarı ömrünü hesaplayınız.

Kavramların Değerlendirilmesi

$\text{A} \longrightarrow \text{B}$ şeklindeki birinci dereceden bir tepkimeyi ele alalım. A molekülleri (mavi küreler) B moleküllerine (turuncu küreler) dönüştürülüyor. (a) Tepkimenin yarı ömrü ve hız sabiti nedir? (b) $t = 20 \text{ s}$ ve $t = 30 \text{ s}$ 'de kaç A ve B molekülü vardır?



$t = 0 \text{ s}$



$t = 10 \text{ s}$

İkinci Dereceden Tepkimeler

İkinci dereceden bir tepkimenin hızı, bir tepkenin derişiminin ikinci kuvvetine veya iki farklı tepkenin derişimlerinin birinci kuvvetlerine bağlıdır. Yalnızca bir çeşit tepken molekülünün katıldığı basit türdeki ikinci dereceden bir tepkimeyi ele alalım.



tepkimesi için

$$\text{hız} = -\frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t}$$

yazılır. Hız yasasından;

$$\text{hız} = k[\text{A}]^2$$

Daha önce yaptığımız gibi, k 'nın birimini şöyle belirleyebiliriz:

$$k = \frac{\text{hız}}{[\text{A}]^2} = \frac{\text{M/s}}{\text{M}^2} = 1/\text{M} \cdot \text{s}$$

İkinci dereceden tepkimesinin diğer bir tipi ise



şeklindedir. Burada hız yasası

$$\text{hız} = k[A][B]$$

olarak verilir. Tepkime A'ya ve B'ye göre birinci derecedendir, ancak toplam tepkime derecesi ikidir.

Birinci dereceden tepkime için yaptığımız gibi, matematik bilginizi kullanarak “A → ürün” şeklindeki ikinci dereceden bir tepkime için aşağıdaki ifadeyi çıkarabiliriz:

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0} \quad (13.7)$$

Eşitlik (13.7),

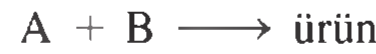
$$\int_{[A]_0}^{[A]_t} \frac{d[A]}{[A]^2} = -k \int_0^t dt$$

işleminin sonucu olarak ortaya çıkar.

Eşitlik (13.7) bir doğru denklemdir. Şekil 13.13'den görüleceği gibi, t 'ye karşı $1/[A]_t$ grafiği, eğim = k ve y kesimi = $1/[A]_0$ olan bir doğru verir.

Yalancı (Pseudo) Birinci Dereceden Tepkimeler

İkinci dereceden tepkimelerin diğer bir türü



şeklinde olup, hız yasası

$$\text{hız} = k[A][B]$$

dır. Bu tür hızlar aslında daha önce gösterilen $k[A]^2$ ikinci derece hızlardan daha yaygındır, ancak matematiksel olarak incelemek daha zordur. İntegrali alınmış hız ifadesinin çözümü mümkün olduğundan, ikinci dereceden tepkime hızlarını *yalancı-birinci dereceden kinetik* koşulları altında ölçme yaklaşımı oldukça sık kullanılır.

Eğer yukarıdaki tepkime, bir tepkenin diğerine göre çok daha fazla miktarda olduğu koşullarda yürütülürse, fazla tepkenin derişimi tepkime süresince önemli miktarda değişmeyecektir ve k içerisine alınabilecektir. Örneğin $[B] \gg [A]$ ise, $[B]$ neredeyse sabit kalır ve

$$\text{hız} = k[A][B] = k_{\text{gözl.}}[A]$$

olur. Şimdi yukarıdaki hız yasasının birinci derece tepkime görünümünde olduğuna dikkat edelim. Yalancı-birinci derece hız sabiti olarak adlandırılan $k_{\text{gözl.}}$ değeri $k_{\text{gözl.}} = k[B]$ ile verilir. Burada “gözl.” gözlenen demek olup, k ise ikinci derece hız sabitidir. Eğer B'nin pek çok farklı başlangıç derişimleri için $k_{\text{gözl.}}$ değerini ölçüp, $[B]$ 'ye karşı $k_{\text{gözl.}}$ grafiğini çizersek, eğimi k olan bir doğru elde ederiz.

Daha önce, brom ile formik asit arasındaki tepkimenin, formik asit çok fazla alındığı için birinci derece hız tepkimesi gibi yürüttüğünü söylemiştik (bak. s. 566). Çok iyi bilinen başka bir örnek etil asetatın, asetik asit ve etanol vererek hidrolizidir (suyla tepkime demektir):

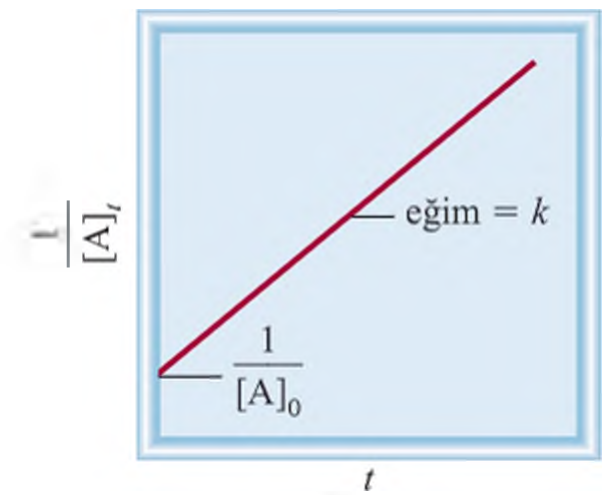


Çözücü olan suyun derişimi 55,5 M civarında olup, 1 M veya daha az derişimdeki etil asetatın yanında $[\text{H}_2\text{O}]$ sabit kalıyormuş gibi kabul edilebilir. Böylece hız,

$$\text{hız} = k[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}] = k_{\text{gözl.}}[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5]$$

şeklinde verilir. Burada $k_{\text{gözl.}} = k[\text{H}_2\text{O}]$ 'dur.

¹ 1 L seyreltik çözeltideki suyun kütlesi yaklaşık 1000 g olup içinde 1000g/(18,2 g/mol) veya 55,5 mol su vardır. Yani suyun derişimi 55,5 M'dir.



Şekil 13.13 A → ürün şeklinde ikinci dereceden bir tepkime için t 'ye karşı $1/[A]_t$ grafiği. Doğrunun eğimi k 'ya eşittir.

Tepkime Yarı-ömrü

“ $A \longrightarrow$ ürünler” şeklindeki ikinci derece bir tepkimesinin yarı ömrünü, Eşitlik (13.7)’de $[A]_t = [A]_0/2$ alarak, aşağıdaki değiştirilmiş ifadede elde edebiliriz.

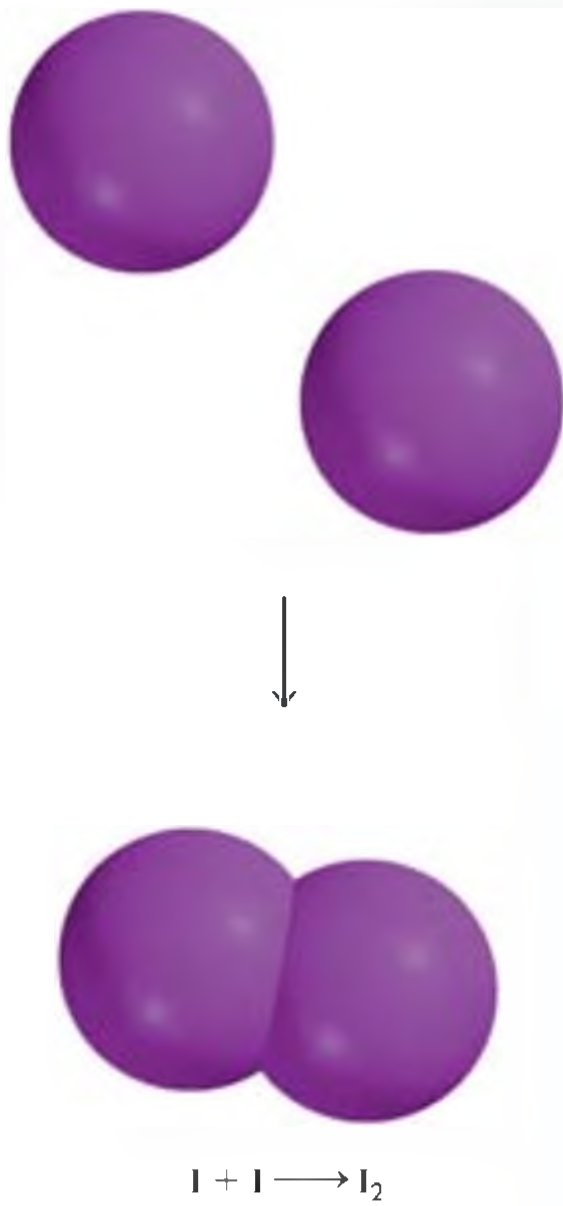
$$\frac{1}{[A]_0/2} = kt_{\frac{1}{2}} + \frac{1}{[A]_0}$$

$t_{\frac{1}{2}}$ için yukarıdaki ifadeyi çözersek,

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{k[A]_0} \quad (13.8)$$

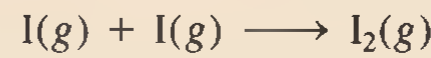
elde edilir. İkinci derece tepkimelerde yarı ömrün, başlangıç derişimi ile ters orantılı olduğuna dikkat edelim. Bu demektir ki, tepken moleküllerinin fazla olduğu tepkimenin başlangıç aşamalarında, yarılanma ömrü daha kısa olmalıdır. Farklı başlangıç derişimleri için yarı ömrü ölçülmesi ile birinci derece ile ikinci derece tepkimelerinin ayırt edilmesi mümkündür.

İkinci dereceden bir tepkimenin kinetik analizi Örnek 13.7’de gösterilmiştir.



Örnek 13.7

İyot atomları gaz fazında iyot molekülünü oluşturmak üzere birleşir.



Bu tepkime ikinci derece kinetiğine uyar ve 23°C ’de $7.0 \times 10^9/M \cdot s$ gibi yüksek bir hız sabiti değerine sahiptir. (a) I ’nın başlangıç derişimi $0.086 M$ ise 2.0 dakika sonraki derişimini hesaplayınız (b) I ’nın başlangıç derişimi $0.60 M$ ve $0.42 M$ olduğunda tepkimenin yarı ömrünü hesaplayınız.

İzlenecek Yol (a) Bir tepkimenin farklı anlardaki derişimleri integrali alınmış hız yasasıyla bulunur. Bu tepkime ikinci dereceden bir tepkime olduğu için Eşitlik (13.7)’yi kullanırız. (b) Bizden yarı ömrünü bulmamız isteniyor. İkinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrünün hesaplanması için, Eşitlik (13.8) verilmiştir.

Çözüm (a) İkinci dereceden bir tepkimede, tepkimenin herhangi bir anındaki derişimi hesaplamak için, başlangıç derişimi ve hız sabiti değerine gerek vardır. Eşitlik (13.7)’yi kullanarak,

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$

$$\frac{1}{[A]_t} = (7.0 \times 10^9/M \cdot s) \left(2.0 \text{ dakika} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dakika}} \right) + \frac{1}{0.086 M}$$

Buradan bulunan $[A]_t$ derişimi, $t = 2.0$ dakikadaki derişimdir yani 2. dakikadaki derişimdir. Eşitliği $[A]_t$ için çözersek

$$[A]_t = 1.2 \times 10^{-12} M$$

buluruz. Bu derişim neredeyse belirlenemeyecek kadar küçük bir derişim değeridir. Bunun anlamı, tepkimenin hız sabitinin çok büyük olması nedeniyle I atomlarının neredeyse tamamı 2.0 dakika içerisinde tepkimeye girmiştir.

(Devamı)

(b) Eşitlik (13.8)'e ihtiyacımız vardır.

$[I]_0 = 0,60 \text{ M}$ için

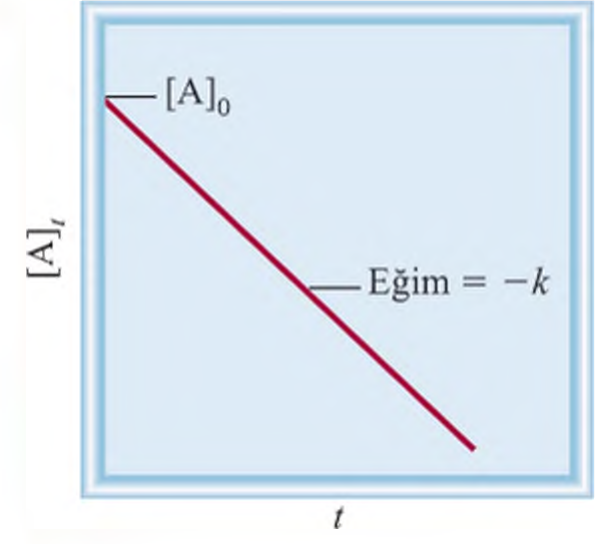
$$\begin{aligned} t_{\frac{1}{2}} &= \frac{1}{k[A]_0} \\ &= \frac{1}{(7,0 \times 10^9 \text{ M} \cdot \text{s})(0,60 \text{ M})} \\ &= 2,4 \times 10^{-10} \text{ s} \end{aligned}$$

$[I]_0 = 0,42 \text{ M}$ için

$$\begin{aligned} t_{\frac{1}{2}} &= \frac{1}{(7,0 \times 10^9 \text{ M} \cdot \text{s})(0,42 \text{ M})} \\ &= 3,4 \times 10^{-10} \text{ s} \end{aligned}$$

Kontrol Bu sonuçlar, birinci dereceden tepkimelerin tersine, ikinci dereceden tepkimelerin yarı ömrünün sabit olmadığını ve tepken başlangıç derişimine bağlı olduğunu gösterir. Daha büyük başlangıç derişimlerinin daha kısa yarı ömürlü olması mantıklı mıdır?

Alıştırma $2A \longrightarrow B$ tepkimesi ikinci derecedendir. 24°C 'deki hız sabiti $51/\text{M-dakika}$ 'dır. (a) $[A]_0 = 0,0092 \text{ M}$ ile başlandığında ne kadar süre sonra $[A]_t = 3,7 \times 10^{-3} \text{ M}$ olur? (b) Tepkimenin yarı ömrünü hesaplayınız



Şekil 13.14 Sıfırıncı dereceden tepkime için t 'ye karşı $\ln[A]_t$ grafiği. Doğrunun eğimi $-k$ 'ya eşittir.

Benzer problemler: 13.27, 13.28.

Kavramların Değerlendirilmesi

" $A \longrightarrow$ ürünler" şeklinde bir tepkimeyi ele alalım. Tepkimenin yarı ömrü A'nın başlangıç derişimine bağlıdır. Aşağıdaki saptamalardan hangisi verilen bilgilerle uyumsuz? (a) Başlangıç derişimi arttıkça tepkime yarı-ömrü azalır. (b) t 'ye karşı $\ln [A]_t$ grafiği bir doğru verir. (c) A'nın derişiminin ikiye katlanması hızı dört kat artırır.

Sıfırıncı Dereceden Tepkimeler

Birinci ve ikinci dereceden tepkimeler çok yaygın tepkime türleridir. Sıfırıncı dereceden tepkimelere ise nadir olarak rastlanır.



şeklindeki sıfırıncı dereceden bir tepkime için hız yasası,

$$\begin{aligned} \text{hız} &= k[A]^0 \\ &= k \end{aligned}$$

olarak verilir. Yani, sıfırıncı dereceden tepkimenin hızı *sabit* olup tepken derişiminden bağımsızdır. Matematik bilginizi kullanarak sıfırıncı dereceden tepkime için,

$$[A]_t = -kt + [A]_0 \quad (13.9)$$

olduğunu gördünüz. Eşitlik (13.9) bir doğru denklemdir. Şekil 13.14'de de görüldüğü gibi, t 'ye karşı $\ln[A]_t$ grafiği, eğimi $-k$ ve y kesimi $= [A]_0$ olan bir doğru verir. Sıfırıncı dereceden bir tepkimenin yarı ömrünü hesaplamak için, Eşitlik (13.9)'da $[A]_t = [A]_0/2$ yazılarak

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{[A]_0}{2k} \quad (13.10)$$

bulunur.

Herhangi bir sayının sıfırıncı kuvvetinin birine eşit olduğunu hatırlayınız.

Eşitlik (13.9), aşağıdaki integralin sonucudur.

$$\int_{[A]_0}^{[A]_t} d[A] = -k \int_0^t dt$$

Radyokarbon Yaş Tayini

Bilim insanları, arkeolojik kazılardan elde edilen buluntuların yaşını nasıl bulurlar? Eğer birisi size, M.Ö. 1000 yıllarına ait bir belgeyi satmak istese, bu belgenin gerçek olup olmadığından nasıl emin olabilirsiniz? Mısır piramitlerinde bulunan bir mumya, gerçekten de 3000 yaşında mıdır? Turin kefeni olarak adlandırılan defin bezi sahiden İsa'nın kefeni midir? Bu ve benzer soruların cevabı genellikle kimyasal kinetik ve *radyokarbon yaş tayini yöntemi* uygulanarak bulunabilir.

Dünya atmosferi, olağanüstü yüksek girişim gücüne sahip kozmik ışınlar tarafından sabit ve sürekli bir şekilde bombalanmaktadır. Uzay boşluğundan gelen bu ışınlar elektron, nötron ve atom çekirdeklerinden oluşmaktadır. Atmosfer ile kozmik ışınlar arasındaki önemli tepkimelerden bir tanesi, atmosferdeki azotun (azot-14 izotopu) nötronlarla bombardımanından radyoaktif karbon-14 izotopu ile hidrojen oluşturmalarıdır. Kararsız karbon atomları, havadaki normal karbon dioksit ($^{12}\text{CO}_2$) ile karışmış halde bulunan $^{14}\text{CO}_2$ oluştururlar. Karbon-14 izotopları bozundukça, β parçacıkları (elektronlar) yayar. Bozunma hızı (saniyede yayımlanan elektron sayısı ile ölçülür) birinci dereceden kinetikle yürütür. Bilindiği gibi radyoaktif bozunma için hız yasası şöyledir:

$$\text{hız} = kN$$

burada k birinci derece hız sabiti ve N mevcut ^{14}C çekirdeklerinin sayısıdır. Bozunma yarı ömrü, $t_{1/2}$, $5,73 \times 10^3$ yıldır. Böylece, Eşitlik (13.6)'dan birinci derece hız sabiti :

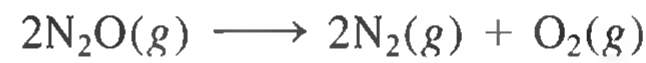
$$k = \frac{0,693}{5,73 \times 10^3 \text{ yıl}} = 1,21 \times 10^{-4} \text{ yıl}^{-1}$$

olarak bulunur.



Turin Kefeni. Bu bezin bir erkek görüntüsüne sahip bir keten parçası mı yoksa gerçekten İsa'nın kefeni mi olduğu konusunda halen bir tartışma sürmektedir.

Pek çok sıfırıncı derece tepkimeleri metal yüzeylerde yürütür. Bir örnek, nitroz oksidin (N_2O), platin (Pt) varlığında azot ve oksijene parçalanmasıdır:



Pt'deki tüm bağlanma uçları dolduğunda, hız gaz fazındaki N_2O miktarından bağımsız olarak sabit kalır. Kesim 13.6'da göreceğimiz gibi, diğer bir çok sıfırıncı dereceden tepkimeler enzim katalizinde görülür.

Üçüncü veya daha yüksek dereceden tepkimeler oldukça karmaşık olup bu kitabın kapsamı dışındadırlar. "A \longrightarrow ürün" şeklindeki sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden tepkimelerin kinetiği Çizelge 13.3'de özetlenmiştir. Yukarıdaki "Kimya İşbaşında" okuma parçası nesnelerin yaş tayininde kimyasal kinetiğin kullanılmasını açıklamaktadır.

Eşitlik (13.9)'daki $[A]_0$ ve $[A]_t$, gaz fazındaki N_2O derişimine karşılık gelir.

Karbon dioksit bitkilerin fotosentezinde kullanıldıkça, karbon-14 izotopları, biyosfere girer. Bu bitkileri hayvanlar yer ve hayvanlar da soluma ile CO₂'deki karbon-14'ü atmosfere salar. Netice olarak karbon-14, karbon çevriminin içinde pek çok kez yer alır. Öte yandan radyoaktif olarak bozulan ¹⁴C, düzenli olarak atmosferdeki yeni izotopların üretimine katılırlar. Bu bozunma ve yeniden oluşma işleminde, yaşayan canlılarda ¹⁴C'ün ¹²C'ye oranı sabit kalacak şekilde dinamik bir denge oluşturulur. Ancak bir bitki veya hayvan öldüğünde, karbon-14 izotopu artık oluşturulamaz ve ¹⁴C bozundukça bu oranı azalır. Aynı değişim, karbon atomları yerin altında kömür, petrol veya tahta olarak depolandığında ve elbette Mısır mumyalarında da görülür. Yıllar geçtikçe, mesela bir mumyada kalmış olan bir kaç ¹⁴C çekirdeği ile, yaşayan bir insandaki ¹⁴C arasında bir orantı kurulabilir.

1955'de, Willard F. Libby¹, seçilen bir örnekte, harcanan ancak yeniden oluşturulmayan karbon-14 izotopunun, örnek ömrünün tahmin edilmesinde kullanılabileceğini öngördü. Eşitlik (13.3) yeniden düzenlenirse,

$$\ln \frac{N_0}{N_t} = kt$$

yazabilir. Burada N_0 ve N_t , ¹⁴C çekirdeğinin sırasıyla $t = 0$ ve $t = t'$ 'deki sayısıdır. Bozunma hızı doğrudan var olan ¹⁴C çekirdeğinin sayısı ile orantılı olduğundan, söz konusu eşitlik

¹Willard Frank Libby (1908–1980). Amerikalı kimyacı. Libby, radyokarbon yaş tayini çalışması ile 1960'da Nobel Kimya Ödülünü almıştır.

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{k} \ln \frac{N_0}{N_t} \\ &= \frac{1}{1,21 \times 10^{-4} \text{ yıl}^{-1}} \ln \frac{t = 0 \text{ 'daki bozunma hızı}}{t = t' \text{ 'deki bozunma hızı}} \\ &= \frac{1}{1,21 \times 10^{-4} \text{ yıl}^{-1}} \ln \frac{\text{taze örneğin bozunma hızı}}{\text{eski örneğin bozunma hızı}} \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir. Taze ve eski örnek için k ve bozunma hızlarını bilirse, eski örneğin yaşı olan t' 'yi bulabiliriz. Bu harika teknik aslında çok basit bir fikre dayanmaktadır. Başarısı ise, bizim bozunma hızını ne kadar doğru ölçtüğümüze bağlıdır. Taze örneklerde, ¹⁴C/¹²C oranı yaklaşık 1/10¹² civarında olup, kullanılacak radyoaktif bozunma göstergesi (monitör) çok hassas olmalıdır. Çok az ¹⁴C çekirdeği içermesinden ötürü eski örneklerle ilgili hassas sonuç bulmak çok daha zordur. Gene de, radyokarbon yaş tayini, arkeolojik buluntular, resimler ve 1000 ile 50000 yıl kadar eski diğer nesnelerin yaşını belirlemek için olağanüstü değerli bir araçtır.

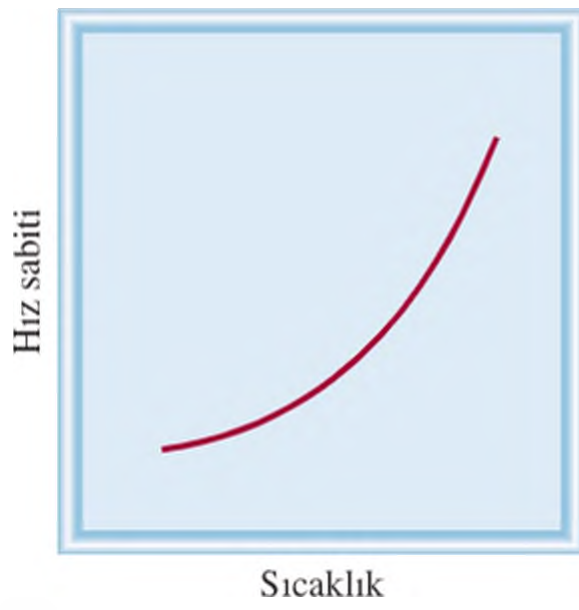
Radyokarbon yaş tayin yönteminin en çok duyulan bir uygulaması, Turin kefeninin yaşının belirlenmesidir. 1988'de, 50 mg'dan daha küçük bir miktardaki kefen bezi üzerinde çalışan Avrupa ve Birleşik Devletlerdeki üç laboratuvar, karbon-14 yaş analizi ile bu kefen'in yaşının M.S. 1260 ile 1390 yılları arasında olduğunu gösterdi. Bu bulgular, Kefen'in İsa'nın kefeni olamayacağına işaret etmekteydi. Ancak son araştırma raporları, bu bulgunun geçersiz olduğunu öngörmektedir. Çünkü yaş tayini analizleri, kefen'in sonraki yıllarda tamir görmesi sırasında içine giren kirleticilere dayandırılmıştı. Bu konudaki karşıt görüşlerin bir müddet daha süreceği ve kefen üzerinde daha başka deneylerinde yürütüleceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 13.3

Sıfırıncı, Birinci ve İkinci Dereceden Tepkime Kinetiklerinin Özeti

Derece	Hız yasası	Derişim-Zaman Eşitliği	Yarı Ömür
0	$Hız = k$	$[A]_t = -kt + [A]_0$	$\frac{[A]_0}{2k}$
1	$Hız = k[A]$	$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt$	$\frac{0,693}{k}$
2 ¹	$Hız = k[A]^2$	$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$	$\frac{1}{k[A]_0}$

¹A → ürün.



Şekil 13.15 Hız sabitinin sıcaklığa bağlılığı. Pek çok tepkimenin hız sabiti sıcaklıkla artar.

13.4 Eşik Enerjisi ve Hız Sabitinin Sıcaklığa Bağlılığı

Birkaç istisna dışında, tepkime hızları genelde sıcaklıkla artar. Örneğin, yumurtayı suda 100°C'de haşlamak (yaklaşık 10 dakika) 80°C'de haşlamaktan (yaklaşık 30 dakika) daha hızlıdır. Aynı şekilde, yiyeceklerin sıfır derecenin altındaki sıcaklıklarda saklanması, bakterilerin gıdaları bozma hızının yavaşlatılmasıdır. Şekil 13.15, tepkime hızının ölçüsü olan tepkime hız sabitinin sıcaklıkla değişimini gösterir. Bu etkileri açıklayabilmek için, öncelikle tepkimelerin nasıl başladığını öğrenmemiz gerekir.

Kimyasal Kinetikte Çarpışma Kuramı

Gazların kinetik molekül kuramına göre (s. 202) gaz molekülleri sürekli olarak birbirleri ile çarpışırlar. Dolayısı ile kimyasal tepkimelerin, tepken moleküllerinin çarpışması sonucu gerçekleşmeleri mantıklı gözükmektedir. Kimyasal kinetikteki *çarpışma kuramına* göre, bir tepkimenin hızı, saniyede gerçekleşen moleküler çarpışma sayısı, yani moleküler çarpışmalarının frekansı ile doğru orantılıdır:

$$\text{hız} \propto \frac{\text{çarpışma sayısı}}{s}$$

Bu basit ilişki, tepkime hızının derişime bağlı olduğunu açıklamaktadır.

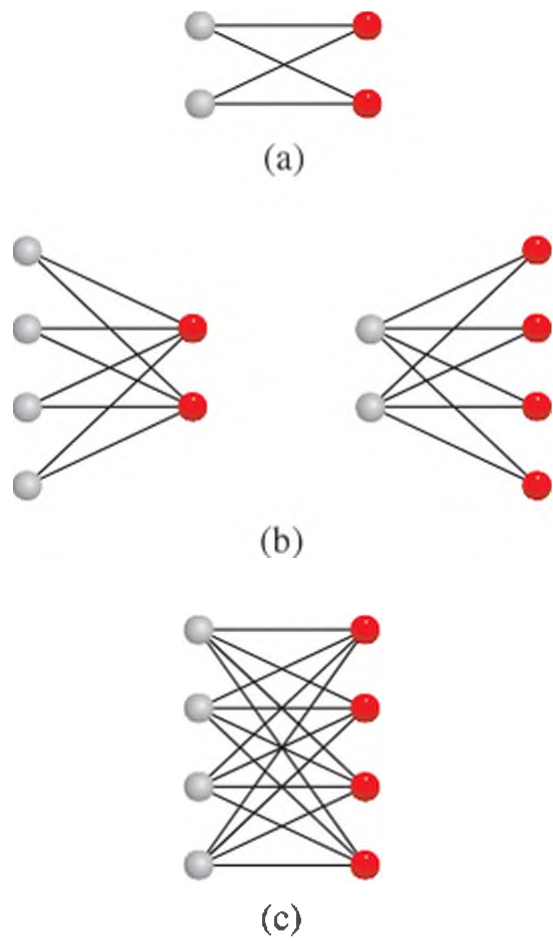
Örneğin, A moleküllerinin B molekülleri ile bir ürün verdiği tepkimeyi ele alalım. Her ürün molekülünün A ve B moleküllerinin birleşmesi ile oluştuğunu varsayalım. Eğer A'nın derişimini iki kat artırırsak, A-B çarpışma sayısı da ikiye katlanır. Çünkü bu durumda belli bir hacimde B molekülleri ile çarpışabilecek A moleküllerinin sayısı iki kat fazlaşmıştır (Şekil 13.16). Böylece hız da 2 kat artar. Benzer şekilde, eğer B moleküllerinin sayısı ikiye katlanırsa hız yine iki kat artar. Dolayısıyla hız yasasını

$$\text{hız} = k[A][B]$$

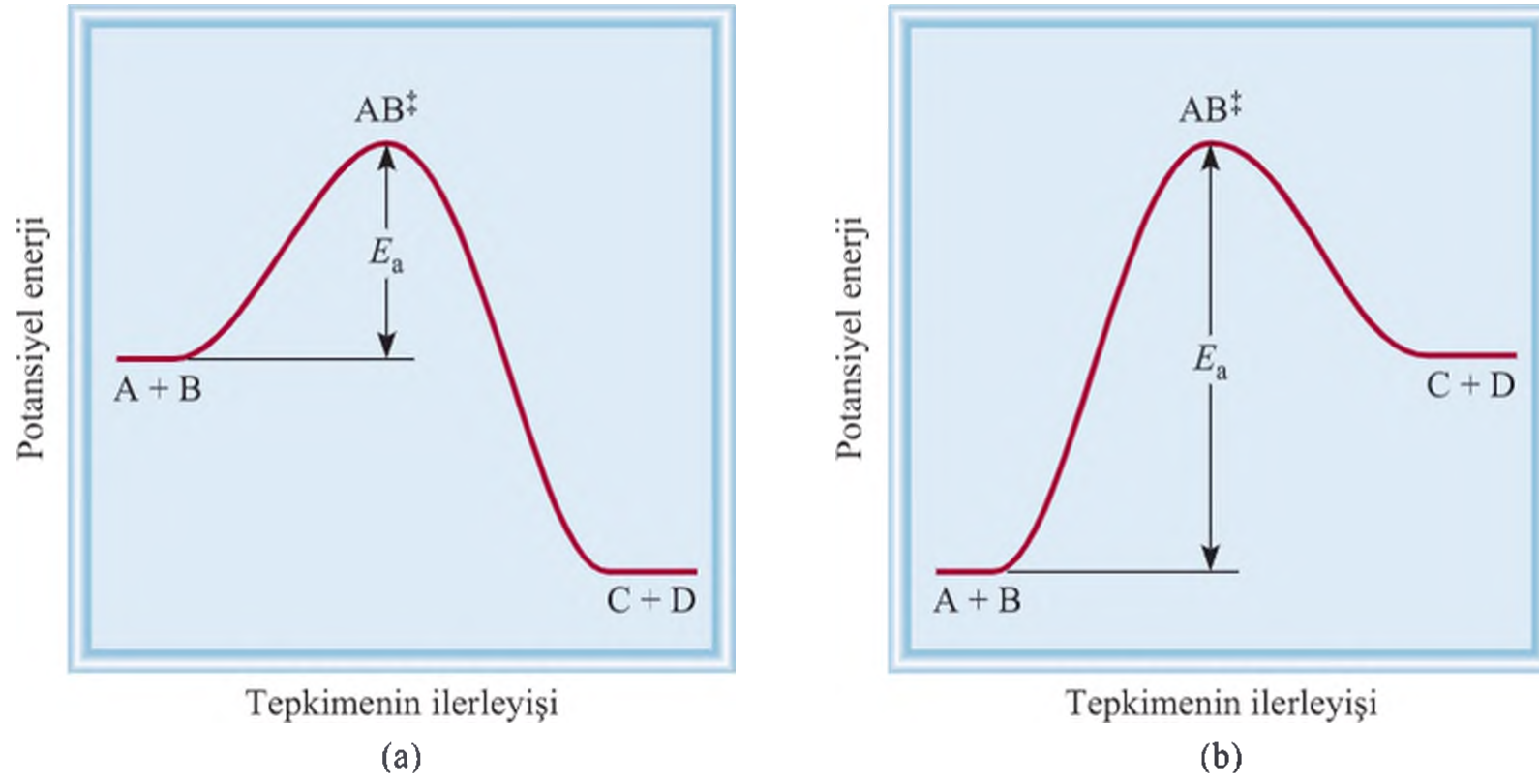
şeklinde yazabiliriz. Tepkime A ve B'ye göre birinci derecedendir ve toplamda ise ikinci derece kinetiği dayanır.

Tepkime oluşumu için çarpışma kuramı oldukça iyi bir yaklaşımdır. Ancak, hız ve molekül çarpışmaları arasındaki ilişki beklediğimizden daha karmaşıktır. Bu kuram ancak A ve B moleküllerinin çarpışmaları ile tepkime olacağı şeklinde yorumlansa da bütün çarpışmalar tepkime vermez. Kinetik molekül kuramına dayalı hesaplamalar, gaz fazında 1 atm ve 298 K'de, 1 mL hacimde, saniyede 1×10^{27} tane ikili çarpışma (iki molekül arasındaki çarpışmalar) olduğunu göstermektedir. Sıvılarda saniyedeki çarpışma sayısı ise çok daha fazladır. Eğer her ikili çarpışma ürün vermiş olsaydı, pek çok tepkime bir anda tamamlanırdı. Oysa tepkimelerin hızları birbirlerinden çok farklıdır. Bu da, çarpışmaların kendi başına tepkimenin gerçekleşmesini garanti etmediği anlamına gelir.

Hareket halindeki herhangi bir molekül kinetik enerjiye sahiptir ve hızı ne kadar fazlaysa kinetik enerjisi de o kadar büyüktür. Ancak hızlı hareket eden molekül kendiliğinden parçalarına ayrılmaz. Tepkime vermesi için diğer bir moleküle çarpması gerekir. Moleküller çarpıştıklarında, kinetik enerjilerinin bir kısmı titreşim enerjisine dönüşür. Eğer başlangıç kinetik enerjileri büyükse, çarpışan moleküllerin titreşimleri o kadar kuvvetli olur ki, sonuçta kimyasal bağlarının bir kısmı kırılır. Bu bağ kırılması ürün oluşumundaki ilk basamaktır. Eğer başlangıçtaki kinetik enerji küçükse,



Şekil 13.16 Çarpışma sayısının derişime bağlılığı. Burada sadece ürün oluşumuna yol açan A-B çarpışmaları göz önüne alınmıştır. (a) İki A ve iki B molekülü arasında dört çarpışma olasılığı. (b) Moleküllerden herhangi birinin (fakat ikisinin birden değil) sayısı ikiye katlanırsa çarpışma sayısı sekize çıkar. (c) Hem A hem de B moleküllerinin sayısı iki kat artırırsa çarpışma sayısı on altı olur. Herbir durumda, kırmızı bir küre ile gri bir kürenin çarpışması yalnızca bir kez sayılabilir.



Şekil 13.17 Ekzotermik (a) ve endotermik (b) tepkimelerin potansiyel enerji profilleri. Bu grafikler A ve B tepkenlerinin C ve D ürünlerine dönüşmesi sırasında potansiyel enerji değişimini göstermektedir. AB^{\ddagger} aktifleşmiş kompleksi, yüksek potansiyel enerjili ve çok kararsız bir türdür. Eşik enerjisi hem (a) hem de (b)'de ileri yöndeki tepkime için tanımlanmıştır. Tepkenlere göre C ve D ürünlerinin, (a)'da daha kararlı, (b)'de ise daha az kararlı olduğuna dikkat ediniz.

moleküllerin birbirleri ile etkileşimleri çok azdır. Enerji açısından söylersek, tepkime gözlenmeyen durumlarda da bir minimum çarpışma enerjisi değeri vardır. Bu eksik enerjide moleküller aynen kalırlar ve çarpışmadan bir ürün elde edilmez.

Çarpışan moleküllerın tepkime verebilmeleri için toplam kinetik enerjileri **eşik enerjisine** (E_a) eşit veya ondan daha büyük olmalıdır. Eşik enerjisi, bir kimyasal tepkimenin başlaması için gerekli en düşük enerji miktarıdır. Moleküller çarpıştıkları zaman ürün meydana gelmeden önce **aktifleşmiş kompleks**(ya da **geçiş hali**) denilen kararsız bir ara ürün oluştururlar.

Aşağıdaki tepkimesinin iki farklı potansiyel enerji profili Şekil 13.17'de görülmektedir.



Bu tepkimede AB^{\ddagger} , A ve B'nin çarpışması ile ortaya çıkan aktifleşmiş kompleksi göstermektedir. Ürünler tepkenlere göre daha kararlı olduğunda, tepkime dışarıya ısı salarak yürür yani ekzotermiktir [Şekil 13.17(a)]. Diğer yandan, ürünler tepkenlere göre daha az kararlı ise, tepkime çevreden ısı soğurur yani endotermiktir [Şekil 13.17 (b)]. Her iki durumda tepkimenin potansiyel enerjisini, tepkimenin ilerleyişine karşı grafiğe geçirebiliriz. Bu grafikler, tepkenler ürüne dönüştürken potansiyel enerjideki değişim miktarını gösterir.

Eşik enerjisini, düşük enerjili moleküllerın tepkime vermesine engel oluşturan bir bariyer gibi düşünebiliriz. Sıradan bir tepkimedeki tepken moleküllü sayısı oldukça fazla olduğundan bu moleküllerın kinetik enerjileri ve dolayısıyla da hızları çok farklı olacaktır. Normal olarak, çarpışan moleküllerın yalnızca çok hızlı hareket eden küçük bir kesri eşik enerjisini aşacak kinetik enerjiye sahiptir ve ancak bu moleküller tepkimede yer alabilirler. Sıcaklık artışı ile tepkime hızındaki (veya hız sabitindeki) artış şöyle açıklanabilir: Moleküllerın hızları Şekil 5.17'de gösterilen Maxwell dağılımlarına uymaktadır. Hız dağılımlarını iki farklı sıcaklık için karşılaştırırsanız yüksek sıcaklıklarda, yüksek enerjiye sahip molekül sayısı daha fazla olacağından, ürün oluşumu da yüksek sıcaklıklarda daha fazla olacaktır.

Arrhenius Eşitliği

Bir tepkimeye ait hız sabitinin sıcaklıkla değişimi *Arrhenius eşitliği* olarak bilinen aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (13.11)$$

Animasyon
Aktivasyon (Eşik) Enerjisi

Burada E_a tepkimenin eşik enerjisi (kJ/mol), R gaz sabiti (8,314 J/K·mol), T mutlak sıcaklık ve e doğal logaritma eşelinin tabanıdır. (Ek 4'e bakınız). A çarpışma frekansı olup frekans faktörü diye adlandırılır. Frekans faktörü, verilen tepkime sistemi için geniş bir sıcaklık aralığında sabit kabul edilebilir. Eşitlik (13.11), hız sabitinin A ile, dolayısı ile çarpışma frekansı ile doğru orantılı olduğunu gösterir. E_a/RT üstel teriminin önünde eksi işareti olduğundan, tepkime hızı eşik enerjisinin artması ile azalır, ancak sıcaklık artışı ile artar. Bu eşitlik, her iki tarafın doğal logaritmasının alınması ile daha da kullanışlı bir hale dönüştürülebilir:

$$\ln k = \ln A e^{-E_a/RT}$$

veya

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (13.12)$$

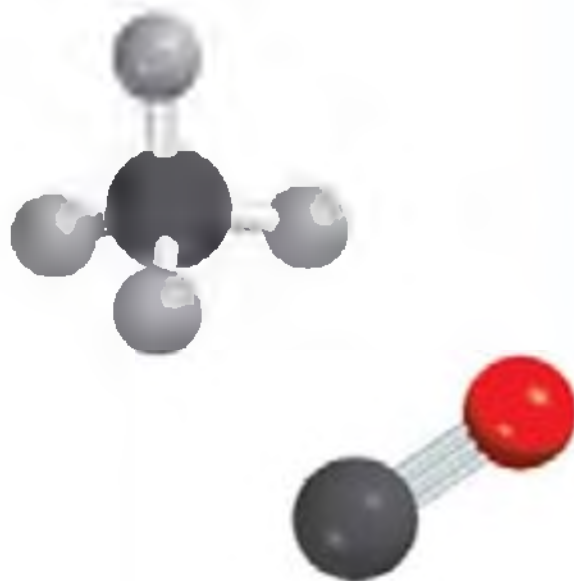
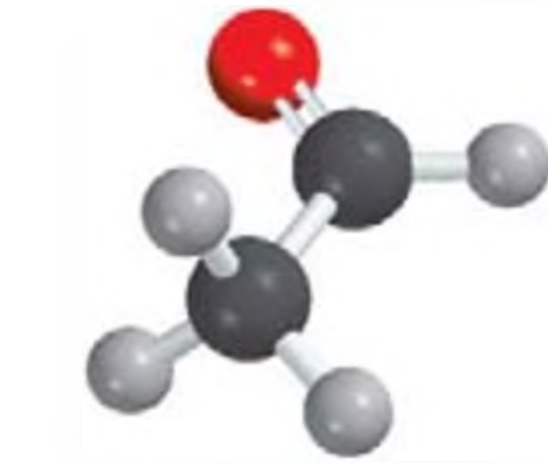
Eşitlik (13.12), basit bir düzenleme yapılarak bir doğru denklemine dönüştürülebilir:

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + \ln A \quad (13.13)$$

$$\begin{array}{ccccccc} \updownarrow & & \updownarrow & & \updownarrow & & \updownarrow \\ y & = & m & & x & + & b \end{array}$$

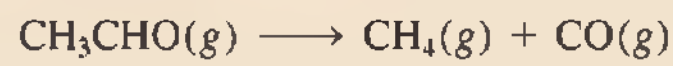
Yukarıdaki eşitlik kullanılarak elde edilen $\ln k$ 'nın $1/T$ 'ye karşı grafiğinden elde edilen doğrunun m eğimi $-E_a/R$ 'ye ve y eksenindeki b kesim noktası da $\ln A$ 'ya eşittir.

Örnek 13.8, bir tepkimenin eşik enerjisinin grafik yöntemi ile belirlenmesini göstermektedir.



Örnek 13.8

Asetaldehitin parçalanma tepkimesinin hız sabiti beş farklı sıcaklıkta ölçülmüştür.



DeneySEL veriler çizelgede verilmiştir. $\ln k$ 'ya karşı $1/T$ grafiğini çizerek tepkimenin eşik enerjisini (kJ/mol) bulunuz. Tepkime CH_3CHO 'ya göre $\frac{3}{2}$ inci derecedendir ve k 'nın birimin $1/\text{M}^{\frac{3}{2}} \cdot \text{s}$ 'dir.

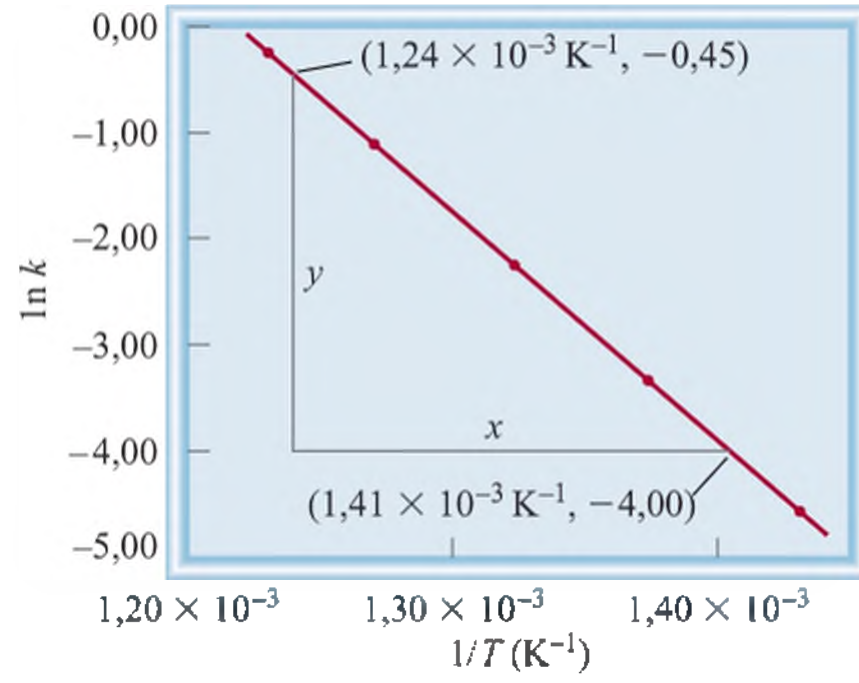
k ($1/\text{M}^{\frac{3}{2}} \cdot \text{s}$)	T (K)
0,011	700
0,035	730
0,105	760
0,343	790
0,789	810

İzlenecek Yol Bir doğru denklemi şeklinde yazılan Arrhenius eşitliğini ele alalım.

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + \ln A$$

$\ln k$ 'ya karşı $1/T$ grafiği (y 'ye karşı x), eğimi $-E_a/R$ olan bir doğru verir. Eğimden eşik enerjisi hesaplanabilir.

(Devamı)



Şekil 13.18 $1/T$ 'ye karşı $\ln k$ grafiği. Doğrunun eğimi $-E_a/R$ 'ye eşittir.

Çözüm Önce, verileri aşağıdaki çizelgedeki şekle dönüştürelim:

$\ln k$	$1/T \text{ (K}^{-1}\text{)}$
-4,51	$1,43 \times 10^{-3}$
-3,35	$1,37 \times 10^{-3}$
-2,254	$1,32 \times 10^{-3}$
-1,070	$1,27 \times 10^{-3}$
-0,237	$1,23 \times 10^{-3}$

Bu verilerden Şekil 13.18'deki grafik elde edilir. Doğrunun eğimi seçilen iki noktanın koordinatlarından hesaplanır:

$$\text{eğim} = \frac{-4,00 - (-0,45)}{(1,41 - 1,24) \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}} = -2,09 \times 10^4 \text{ K}$$

Eşitlik (13.13)'ün doğrusallığından,

$$\begin{aligned} \text{eğim} &= -\frac{E_a}{R} = -2,09 \times 10^4 \text{ K} \\ E_a &= (8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol})(2,09 \times 10^4 \text{ K}) \\ &= 1,74 \times 10^5 \text{ J/mol} \\ &= 1,74 \times 10^2 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Benzer problem: 13.40.

Kontrol Hız sabiti $1/M^2 \cdot s$ biriminde olmasına karşın, $\ln k$ 'nın birimsiz olduğuna dikkat ediniz (birimin logaritmasını alamayız).

Alıştırma Diazot oksitin (N_2O) azot ve oksijen moleküllerine parçalanma tepkimesi ikinci derecedendir. Hız sabitleri farklı sıcaklıklarda ölçülmüş ve aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

$k \text{ (1/M} \cdot \text{s)}$	$t \text{ (}^\circ\text{C)}$
$1,87 \times 10^{-3}$	600
0,0113	650
0,0569	700
0,244	750

Tepkimenin eşik enerjisini grafik yöntemiyle bulunuz.

Eşik enerjisi T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki k_1 ve k_2 hız sabitlerini ilişkilendiren bir eşitlik kullanılarak hesaplanabilir. Eğer E_a biliniyorsa, aynı eşitlik başka bir sıcaklık-

taki hız sabitini bulmakta da kullanılabilir. Böyle bir eşitliği türetebilmek için Eşitlik (13.12)'den yola çıkarız:

$$\ln k_1 = \ln A - \frac{E_a}{RT_1}$$

$$\ln k_2 = \ln A - \frac{E_a}{RT_2}$$

$\ln k_1$ 'den $\ln k_2$ 'yi çıkarırız.

$$\ln k_1 - \ln k_2 = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) \quad (13.14)$$

Örnek 13.9, türettiğimiz bu eşitliğin kullanımını göstermektedir.

Örnek 13.9

Birinci dereceden bir tepkimenin 298 K'deki hız sabiti $3,46 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dir. Tepkimenin eşik enerjisi 50,2 kJ/mol ise 350 K'deki hız sabiti nedir?

İzlenecek Yol Arrhenius eşitliğinin düzenlenmiş hali, iki farklı sıcaklıktaki hız sabitlerini birbirleri ile ilişkilendirir. [Eşitlik (13.14)'e bakınız]. R ve E_a 'nın birimlerinin birbirleriyle uyumlu olduğundan emin olunuz.

Çözüm Veriler şöyledir:

$$\begin{array}{ll} k_1 = 3,46 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1} & k_2 = ? \\ T_1 = 298 \text{ K} & T_2 = 350 \text{ K} \end{array}$$

Bu veriler eşitlik (13.14)'de yerine konulur.

$$\ln \frac{3,46 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}}{k_2} = \frac{50,2 \times 10^3 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}} \left[\frac{298 \text{ K} - 350 \text{ K}}{(298 \text{ K})(350 \text{ K})} \right]$$

E_a 'nın biriminin R 'nin birimine uyması için yukarıda J/mol'e çevirdik. Denklemin çözümünden;

$$\ln \frac{3,46 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}}{k_2} = -3,01$$

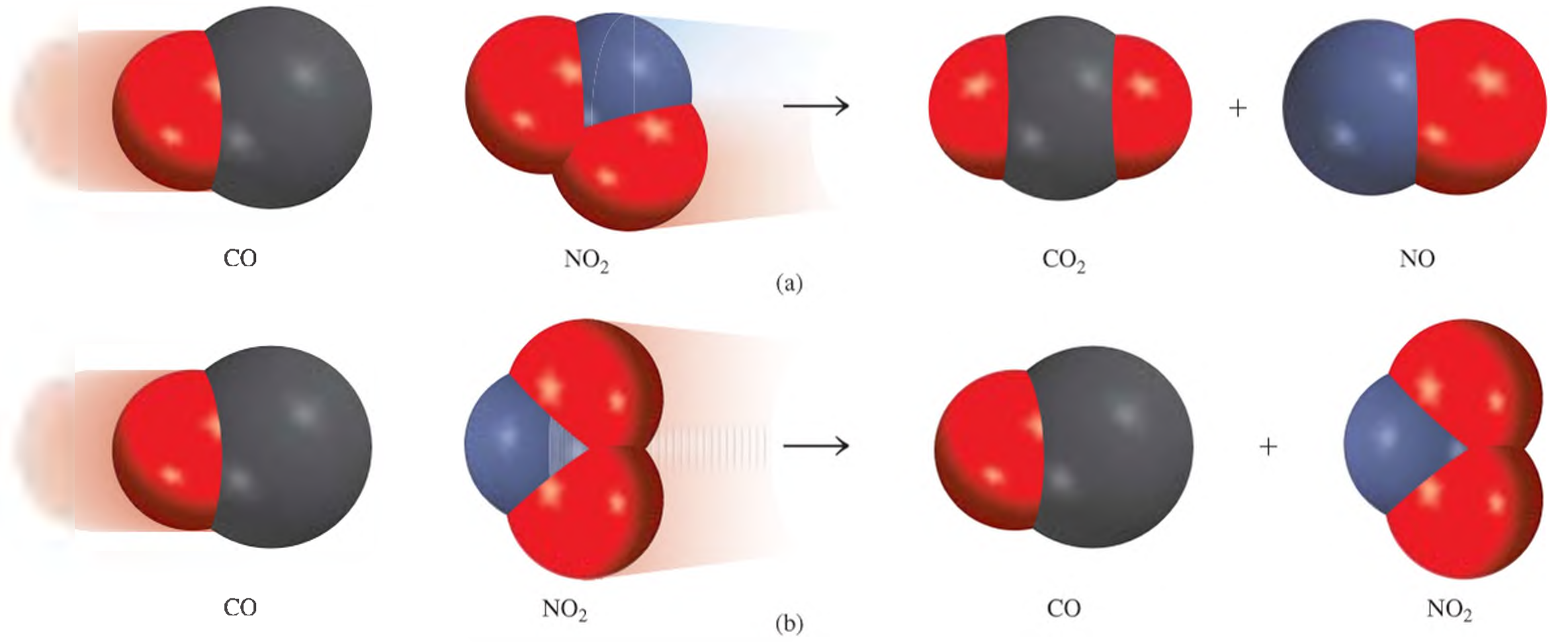
$$\frac{3,46 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}}{k_2} = e^{-3,01} = 0,0493$$

$$k_2 = 0,702 \text{ s}^{-1}$$

Benzer problem: 13.42.

Kontrol Yüksek sıcaklıktaki hız sabitinin daha büyük olması beklenen bir sonuçtur. Dolayısıyla, cevap mantıklıdır.

Alıştırma Metil klorürün (CH_3Cl) su ile tepkimesi sonucu, metanol (CH_3OH) ve hidroklorik asit (HCl) oluşur. Tepkimenin birinci dereceden hız sabiti 25 °C'de $3,32 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ dir. Bu tepkimenin eşik enerjisi 116 kJ/mol ise 40 °C'deki hız sabitini hesaplayınız.



Şekil 13.19 (a)'da gösterilen moleküllerin yönelmeleri etkili olup muhtemelen ürün oluşacaktır. (b)'de gösterilen moleküllerin yönelmeleri etkisiz olup ürün oluşmayacaktır.

Basit tepkimeler için (örneğin, atomlar arasındaki), Arrhenius eşitliğindeki frekans faktörünü (A) tepkimeye giren türler arasındaki çarpışma frekansına eşit alabiliriz. Daha karmaşık tepkimelerde, moleküllerin birbirlerine göre nasıl yöneldiklerini gösteren “yönlenme faktörünü” göz önünde bulundurmanız gerekir. Örneğin, karbon monoksit (CO) ile azot dioksit (NO_2) arasındaki, karbon dioksit (CO_2) ve azot oksit (NO) oluşturmak üzere yürüten tepkimede bu durum gösterilebilir:



Bu tepkime, tepken molekülleri birbirlerine Şekil 13.9(a)'da gösterildiği gibi yaklaşırlarsa daha kolay yürütür. Aksi takdirde ya çok az ürün oluşur, ya da hiç ürün oluşmaz. Yönlenme faktörü ilave edilerek Eşitlik (13.11) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir:

$$k = pAe^{-E_a/RT} \quad (13.15)$$

Burada p , birimsiz bir büyüklük olan yönlenme faktörüdür. Yönlenme faktörü, $\text{I} + \text{I} \longrightarrow \text{I}_2$ gibi atomların katıldığı tepkimeler için 1 değeri ile, moleküllerin katıldığı tepkimeler için 10^{-6} veya daha küçük değerler arasında değişir.

Animasyon
Çarpışmalarda Yönlenme

Kavramların Değerlendirilmesi

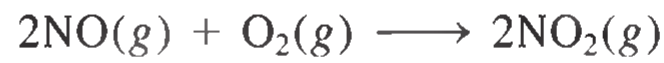
(a) Bir tepkimenin hız sabiti, sıcaklıktaki küçük değişimlerden önemli miktarda değişiyorsa, bu tepkimenin eşik enerjisinin büyüklüğü hakkında ne söyleyebilirsiniz?

(b) Eğer bir tepkime iki tepken molekülün çarpışmasıyla her zaman oluşuyorsa, yönlenme faktörü ve tepkimenin eşik enerjisi hakkında ne söyleyebilirsiniz?

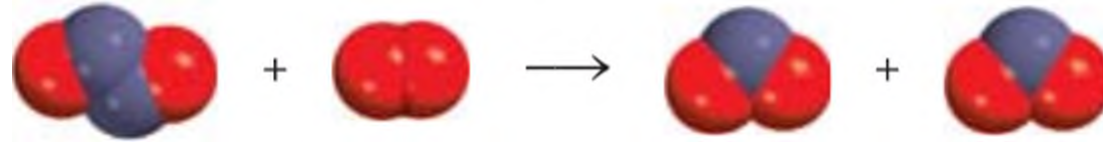
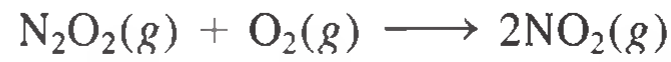
13.5 Tepkime Mekanizmaları

Daha önce bahsedildiği gibi, denkleştirilmiş net kimyasal eşitlik gerçekte tepkimenin nasıl gerçekleştiği hakkında bize tam fikir vermez. Çoğu kez, *denkleştirilmiş net tepkime*, bazı **basit basamakların** veya *basit tepkimelerin toplamıdır*. Başka bir deyişle *net tepkimenin moleküler düzeyde nasıl yürüdüğü, bir seri basit tepkime basamakları ile ifade edilir. Tepkime mekanizması* terimi *ürün oluşumuna yol açan basit basamaklar serisi için kullanılır*. Tepkime mekanizması bir seyahat boyunca takip edilen rotaya benzetilebilir. Toplam kimyasal eşitlik ise bize sadece başlangıç ve varış yerini gösterir.

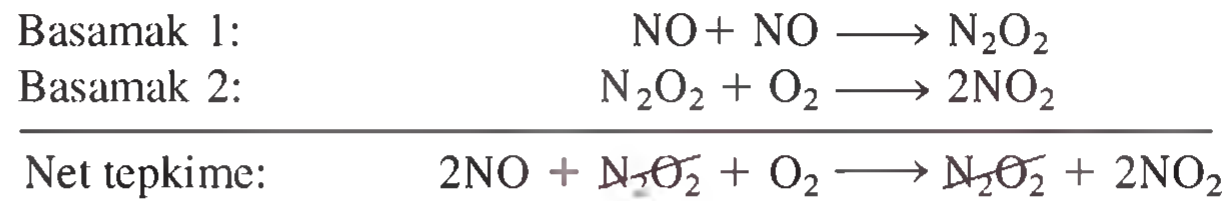
Tepkime mekanizmasına örnek olarak, azot monoksit ve oksijen arasındaki tepkimeyi ele alalım:



Bu tepkime sürecinde yukarıdaki net tepkimede yer almayan N_2O_2 'nin ortaya çıktığı saptandığı için, ürünün basitçe iki NO molekülü ile bir O_2 molekülünün çarpışmasından oluşmadığı bilinmektedir. Tepkimenin gerçekte aşağıdaki gibi iki basit basamak üzerinden yürüdüğünü varsayalım:



Birinci basit basamakta, iki NO molekülü bir N_2O_2 molekülü vermek üzere çarpışır. Bu tepkimeyi N_2O_2 ve O_2 arasındaki çarpışma sonucu iki NO_2 molekülünün oluşması izler. Toplam değişimi gösteren net kimyasal eşitlik, bu basit basamakların toplamı şeklinde verilir:



Basit tepkime basamaklarının toplamı, denkleştirilmiş net eşitliği vermelidir.

N_2O_2 gibi türler **ara ürün** olarak adlandırılırlar. Çünkü bu maddeler *tepkime mekanizmasında (basit basamaklarda) yer alır ancak net denkleştirilmiş eşitlikte yer almazlar*. Ara ürünlerin daima başlardaki basit basamaklarda oluştuklarını ve daha sonraki basit basamaklarda harcandıklarını unutmayalım.

Bir tepkimenin **molekülerliği**, bir basit basamakta tepkimeye giren moleküllerin sayısıdır. Basit basamaktaki bu moleküller benzer veya farklı türde olabilirler. Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi, basit basamakta iki tepken molekülü varsa, bunlara **iki moleküllü tepkime** denir. Eğer basit basamakta sadece tek bir tepken molekülü varsa, bunlara da **bir moleküllü tepkime** denir. Bir moleküllü tepkimelere örnek olarak Örnek 13.4'de ele alınan siklopropanın propene dönüşme tepkimesi verilebilir. Bir basit basamakta üç molekülün yer aldığı tepkimeler ise **üç moleküllü** tepkimeler olarak adlandırılır. Bir basit basamakta üç molekülün birden yer aldığı üç moleküllü tepkimelere çok az rastlanır. Çünkü üç molekülün aynı anda çarpışma olasılığı çok azdır.

Hız Yasaları ve Basit Basamaklar

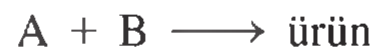
Bir tepkimenin basit basamaklarının bilinmesi bize o tepkimeye ait hız ifadesini yazabilme imkanı verir. Elinizde aşağıdaki gibi basit bir tepkime olsun:



Burada sadece bir tepken molekülü vardır ve bu tepkime bir moleküllü tepkimedir. A moleküllerinin sayısı ne kadar fazla ise, ürünün oluşma hızı da o kadar büyüktür. Yani bir moleküllü bir tepkimenin hızı, A'nın derişimi ile veya [A]'nın birinci kuvveti ile doğru orantılıdır.

$$\text{hız} = k[A]$$

A ve B moleküllerinin katıldığı iki moleküllü basit tepkimede,



ürün oluşma hızı, A ve B'nin hangi sıklıkta çarpıştığına, dolayısıyla A ve B'nin derişimlerine bağlıdır. Bu nedenle tepkime hızı

$$\text{hız} = k[A][B]$$

şeklinde yazılabilir. Benzer şekilde, aşağıda verilen iki moleküllü bir tepkime için



veya



hız ifadesi şöyle yazılır:

$$\text{hız} = k[A]^2$$

Buraya kadar verilen örneklerden görüldüğü gibi basit tepkimelerde her bir tepkene göre tepkime derecesi, bu basamağa ait kimyasal eşitlikteki stokiyometrik katsayılarla eşittir. Sadece toplam denkleştirilmiş eşitliğe bakarak bir tepkimenin bir seri basamak üzerinden mi yoksa yazıldığı gibi tek bir basamak üzerinden mi yürüdüğüünü söyleyemeyiz. Bir tepkimenin derecesi ancak laboratuvar deney sonuçlarına göre tayin edilebilir.

Birden fazla basamak üzerinden yürüten tepkimelerde toplam tepkimenin hız ifadesi **hız belirleyen basamak** ile verilir. Bu basamak, *ürün oluşması sırasında izlenen basamakların en yavaş* olanıdır.

Hız belirleyen basamak, tek araba geçebilecek kadar dar bir yoldaki trafik akışına benzetilebilir. Arabalar birbirlerini sollayamadıkları için, tüm araçların hızı en yavaş arabanın hızına bağlı olacaktır.

Tepkime mekanizması ile ilgili çalışmalar tepkimenin hız ölçümleri için deneysel verilerin elde edilmesinden sonra yürütülür. Daha sonra bu verileri hız sabiti ve tepkime derecesini belirlemekte kullanır ve hız yasasını yazarız. Son olarak da tepkimeye basit basamaklardan oluşan uygun bir mekanizma öneririz (Şekil 13.20). Bu basit basamaklar şu iki koşulu sağlamalıdır:

- Basit basamakların toplamı, net denkleştirilmiş tepkime eşitliğini vermelidir.
- Hız belirleyen basamağa göre yazılan hız ifadesi deneysel yolla bulunanla aynı olmalıdır.

Bir tepkime taslağı önerebilmek için, bir veya daha fazla basit basamakta oluşan herhangi bir ara ürünü saptamamız gerektiğini hatırlayalım.

Hız yasasının doğrudan doğruya basit basamaktaki katsayılardan yazılabileceğine dikkat ediniz.

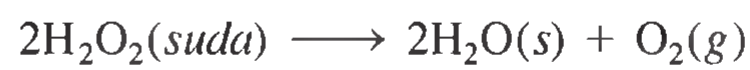
Şekil 13.20 Tepkime mekanizması önermek için izlenecek basamaklar.



Hidrojen peroksitin bozunması ve hidrojen iyodürün moleküler hidrojen ve moleküler bromdan oluşması, tepkime mekanizmalarının deneysel yolla nasıl aydınlatılabileceğini gösteren örneklerdir.

Hidrojen peroksitin bozunması

Hidrojen peroksitin bozunması iyodür iyonlarının etkisiyle daha kolay yürütebilmektedir (Şekil 13.21). Net tepkime şöyledir.

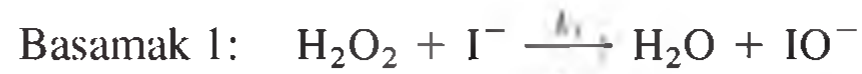


Deneysel olarak hız ifadesi şöyle bulunmuştur:

$$\text{hız} = k[\text{H}_2\text{O}_2][\text{I}^-]$$

Yani tepkime, hem H_2O_2 'nin hem de I^- ye göre birinci derecedendir.

Bu durumda H_2O_2 'nin bozunma tepkimesinin, net denkleştirilmiş eşitliğe karşılık gelen tek bir basit basamak üzerinden yürümediğini görebilirsiniz. Eğer öyle olsaydı, tepkime H_2O_2 'ye göre ikinci dereceden olurdu (iki H_2O_2 molekülünün çarpışmasının bir sonucu olarak). Dahası hidrojen peroksitin bozunmasına ait net eşitlikte bulunmayan I^- iyonu, hız ifadesinde yer almaktadır. Bu durumu nasıl açıklayabiliriz? Öncelikle, gözlenen hız net tepkimenin iki basit basamak üzerinden yürüdüğünü düşünelim.



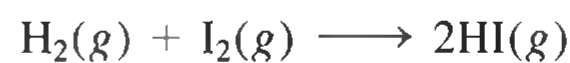
Birinci basamağın hız belirleyen basamak olduğunu kabul edersek, tepkime hızının sadece bu ilk basamaktan hesaplanabileceğini söyleyebiliriz:

$$\text{hız} = k_1[\text{H}_2\text{O}_2][\text{I}^-]$$

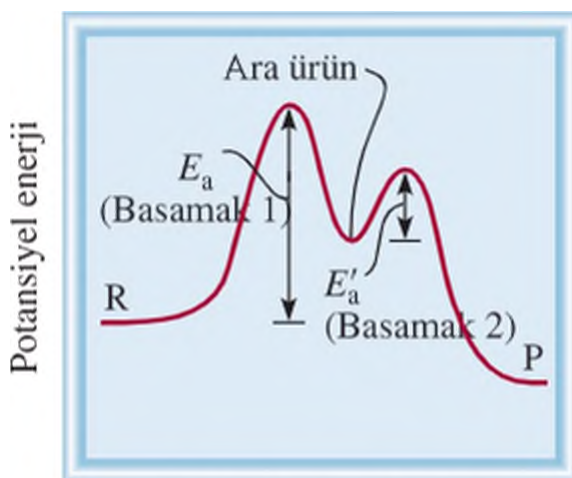
Burada $k_1 = k'$ 'dir. Denkleştirilmiş net eşitlikte yer almadığından, IO^- iyonu bir ara üründür. I^- iyonu da net eşitlikte yer almaz, ancak IO^- dan farklı olarak, tepkimenin hem başında hem de sonunda mevcuttur. I^- iyonunun bu tepkimedeki işlevi tepkime hızını artırmaktır. Yani *katalizördür*. Kataliz kavramını, Kesim 13.6'da ayrıca tartışacağız. Şekil 13.22, H_2O_2 gibi bir bozunma tepkimenin enerji profilini göstermektedir. Hız belirleyen birinci basamağın, ikinci basamağa göre daha büyük eşik enerjisi değerine sahip olduğunu görüyoruz. Ara ürün gözlenebilecek kadar kararlı olmasına rağmen, hızla tepkimeye girerek ürünleri oluşturur.

Hidrojen İyodür Tepkimesi

İki basit basamak üzerinden yürüten yaygın bir tepkime mekanizması tipi, ileri ve geri yönde hızlı yürüten birinci basamak ve birinciye göre daha yavaş yürüten ikinci basamaktan oluşan tepkimelerdir. Bu tepkimelere bir örnek moleküler hidrojen ve moleküler iyodün hidrojen iyodür oluşturmalarıdır:



Şekil 13.21 Hidrojen peroksitin bozunması iyodür iyonu ile katalizlenir. Çözeltiye birkaç damla sıvı sabun eklenmesi, oksijen gazının çıkışını açıkça gösterir. (İyodür iyonlarının bir kısmı iyot molekülüne yükseltgenir. Bu da daha sonra iyodür iyonları ile kahverengi triiyodür, I_3^- , iyonlarını oluşturur)

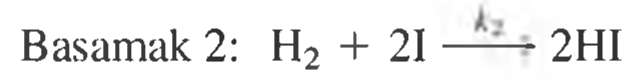


Şekil 13.22 Birinci basamağın hız belirleyen basamak olduğu iki-basamaklı bir tepkimenin potansiyel enerji profili. R ve P sırasıyla tepken ve ürünü göstermektedir.

Bu tepkime için, hız yasası deneysel olarak şöyle bulunmuştur:

$$\text{hız} = k[\text{H}_2][\text{I}_2]$$

Buna bakılarak, uzun yıllar boyunca, tepkimenin yazıldığı şekilde yürüttüğü düşünülmüştür. Başka bir deyişle, sayfa 598'de gösterildiği gibi, hidrojen ve iyodür moleküllerinin katıldığı iki-moleküllü bu tepkime olarak düşünülmüştür. Ancak kimyacılar 1960'larda, gerçek mekanizmanın çok daha karmaşık olduğunu keşfettiler ve bu tepkimeye iki basamaklı bir mekanizma önerdiler:



Burada k_1 , k_{-1} ve k_2 , tepkimelerin hız sabitleridir. I atomları bu tepkimede ara üründür.

Tepkime başlangıcında sadece çok az I atomu vardır. Ancak I_2 ayrıştıkça ve I arttıkça I_2 'nin derişimi düşer. Bu sebepten, 1. basamağın ileri yöndeki hızı azalırken geri yöndeki hızı artar. Sonunda iki yöndeki hızlar eşitlenir ve kimyasal bir denge kurulmuş olur. 1. basamaktaki basit tepkime, 2. basamaktakinden daha hızlı olduğundan, önemli bir miktar hidrojen tepkimeye girmeden, dengeye ulaşılmış olur ve bu durum tepkime boyunca kalıcıdır.

Birinci basamakta, denge koşullarında, ileri yöndeki hız geri yöndeki hıza eşittir:

$$k_1[\text{I}_2] = k_{-1}[\text{I}]^2$$

veya

$$[\text{I}]^2 = \frac{k_1}{k_{-1}} [\text{I}_2]$$

Toplam tepkimenin hızı, yavaş gerçekleşen ve hız belirleyen basamak olan 2. basamak ile verilir:

$$\text{hız} = k_2[\text{H}_2][\text{I}]^2$$

Bu hız yasasında az önce türettiğimiz $[\text{I}]^2$ yi yerine koyarsak:

$$\begin{aligned} \text{hız} &= \frac{k_1 k_2}{k_{-1}} [\text{H}_2][\text{I}_2] \\ &= k[\text{H}_2][\text{I}_2] \end{aligned}$$

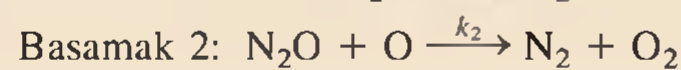
elde ederiz. Burada $k = k_1 k_2 / k_{-1}$ dir. Gördüğümüz gibi, bu iki basamaklı mekanizma tepkime için doğru hız yasasını vermektedir. Ara ürün olarak I atomlarının gözlenmesi ile bu mekanizmanın doğru olduğuna dair kuvvetli bir delil elde edilmiştir.

Son olarak, tüm tepkimelerin bir tek hız belirleyen basamağa sahip olmayabileceklerini dikkat edelim. Bir tepkimede iki veya daha fazla yavaş basamak olabilir. Bu tür tepkimelerin kinetik incelemeleri genellikle çok karmaşıktır.

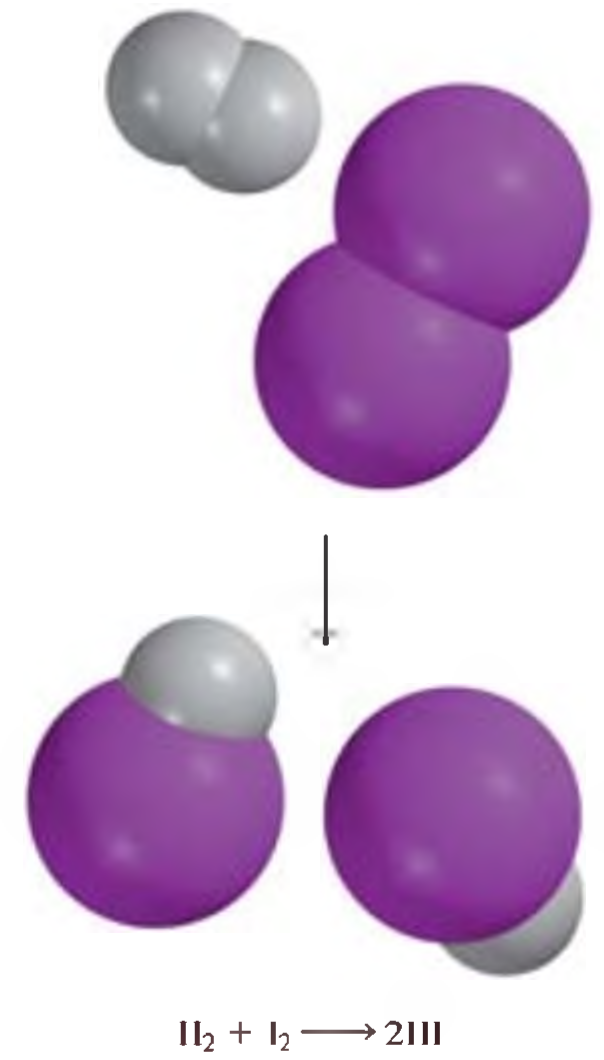
Örnek 13.10, nispeten basit bir tepkimenin mekanizmasının değerlendirilmesi ile ilgilidir.

Örnek 13.10

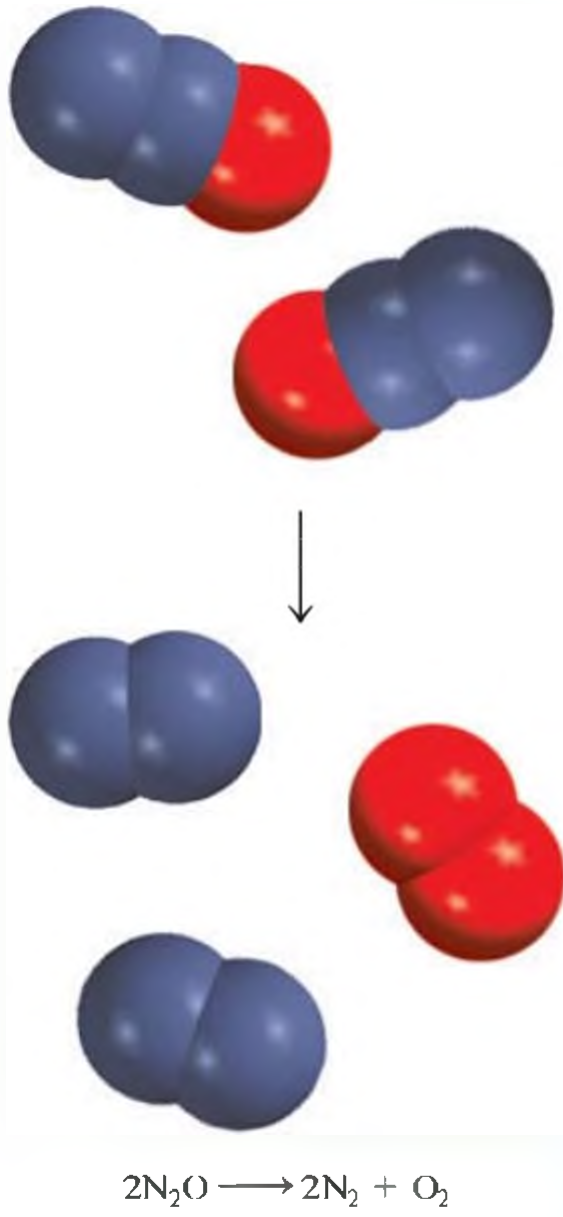
Diazot monooksitin (N_2O) gaz fazındaki bozunma tepkimesinin iki basit basamak üzerinden yürüttüğü düşünülmektedir:



(Devamı)



Kimyasal denge Bölüm 14'de tartışılacaktır.



Benzer problem: 13.55.

Deneyssel olarak bulunan hız ifadesi, $\text{hız} = k [\text{N}_2\text{O}]$ 'dir. (a) Net tepkime eşitliğini yazınız. (b) Ara ürünü belirtiniz. (c) 1. ve 2. basamak bağıl hızları hakkında ne söyleyebilirsiniz?

İzlenecek Yol (a) Net tepkime basit basamaklara bölünebildiği için, bu basit basamakların bize toplam tepkimeyi yazma olanağı sağladığını biliriz. (b) Ara ürünün özellikleri nelerdir? Net tepkimede görülür mü? (c) Hangi basit basamağın hız belirlediği nasıl saptanır? Hız belirleyen basamağın bilinmesi, tepkime hız ifadesini yazılmasına nasıl yardımcı olur?

Çözüm (a) 1. ve 2. basamakların toplamı bize net tepkimeyi verir:



(b) O atomu, ilk basit basamakta oluşup denkleştirilmiş net eşitlikte yer almadığı için, bir ara üründür.

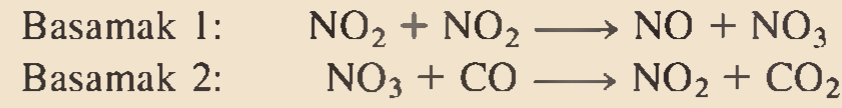
(c) 1. basamağın hız belirlediğini varsayarsak, net tepkimenin hız ifadesi

$$\text{hız} = k_1[\text{N}_2\text{O}]$$

şeklinde verilir ve $k = k_1$ 'dir.

Kontrol Önerilen tepkime mekanizmasının mümkün olabilmesi için iki ölçüt vardır. (1) Basit basamakların toplamı, toplam tepkimeyi vermelidir. (2) Hız belirleyen basamağın (yavaş basamak) hız yasası, deneyssel olarak belirlenen hız yasası ile aynı olmalıdır.

Alıştırma NO_2 ve CO 'in, NO ve CO_2 verdiği tepkimenin iki basamak üzerinden yürütüldüğü düşünülür:



Deneyssel hız ifadesi, $\text{hız} = k [\text{NO}_2]^2$ dir. (a) Net tepkimenin eşitliğini yazınız. (b) Ara ürünü belirleyiniz. (c) 1. ve 2. basamağın bağıl hızları hakkında ne söyleyebilirsiniz?

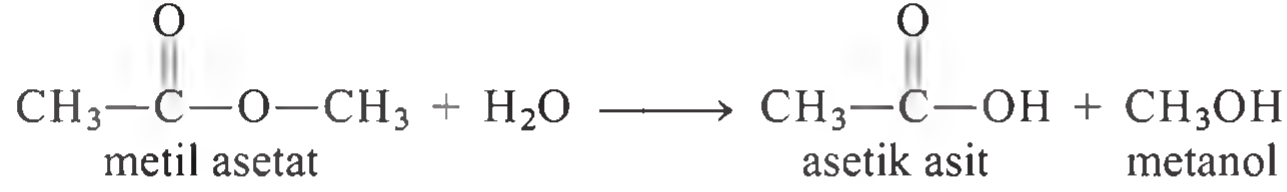
Kavramların Değerlendirilmesi

$\text{H}_2 + 2\text{IBr} \longrightarrow \text{I}_2 + 2\text{HBr}$ tepkimesinin hız yasası $\text{hız} = k [\text{H}_2][\text{IBr}]$ 'dir. HI 'nın ara ürün olduğu verildiğine göre, tepkime için iki basamaklı bir mekanizma yazınız.

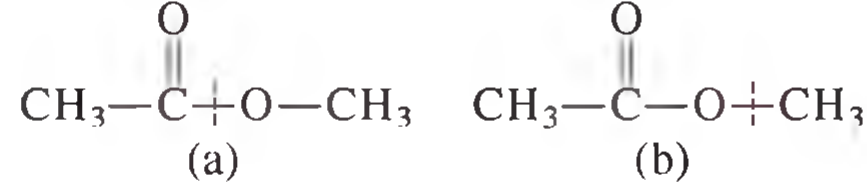
Tepkime Mekanizmalarına Deneyssel Destek

Bir tepkime için önerilen mekanizmanın doğru olup olmadığını nasıl bulabiliriz? Hidrojen peroksidin parçalanması olayında, IO^- iyonlarının varlığını spektroskopik olarak belirlemeye çalışabiliriz. Bu iyonların varlığı, tepkime tasarımı destekleyecektir. Benzer şekilde, hidrojen iyodür tepkimesi için iyot atomlarının saptanması ile önerilen iki basamaklı mekanizma doğrulanmış olacaktır. Örneğin, I_2 molekülleri görünür bölge ışınlarına maruz bırakılırsa atomlarına ayrılır. Yani, H_2 ve I_2 'den HI oluşumunda, ışık şiddeti artırılırsa, I atomlarının derişimi artacağından tepkime hızı da artacaktır. Gerçekte gözlenen durumunda tamamen aynısıdır.

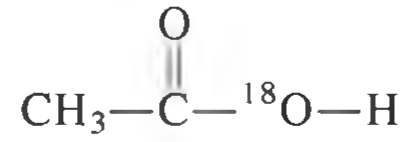
Diğer taraftan, kimyacılar tepkime mekanizmalarını daha iyi anlayabilmek için, metil asetat ile su arasındaki tepkimede hangi C–O bandının kırıldığını bilmek istemişlerdir.



C–O bağının kırılabileceği iki olası durum vardır.



Kimyacılar (a) ve (b) taslağı arasından bir seçim yapmak için normal su (oksijen-16 izotopunu içeren) yerine oksijen-18 izotopunu içeren suyu kullandılar. Oksijen-18 içeren su kullanıldığında, sadece oksijen-18 içeren asetik asit oluşur:

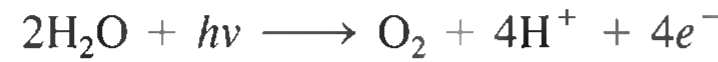


Bu durumda tepkime, (a) taslağındaki bağ kırılması ile ilerlemiş olmalıdır. Çünkü ürün (b) taslağı ile oluşmuş olsaydı kendi orijinal oksijen atomunu içerirdi.

Diğer bir örnek, yeşil bitkilerin karbon dioksit ve sudan glikoz ürettiği fotosentez tepkimesidir.



Fotosentezle ilgili ilk çalışmalar yapılırken akla gelen soru, oksijen molekülü sudan mı, karbon dioksitten mi yoksa her ikisinden birden mi üretildiği sorusu idi. Oksijen-18 izotoplu su kullanılarak, oksijenin karbon dioksitten değil sudan geldiği gösterildi. Çünkü oluşan O_2 sadece ^{18}O izotopu içeriyordu. Bu sonuç, su moleküllerinin ışık ile “parçalandığı” şeklinde önerilen mekanizmayı desteklemiştir:



Burada $h\nu$ foton enerjisini temsil etmektedir. Proton ve elektronlar, bitki gelişimi ve işlevleri için gerekli olan tepkimelerin yürütmesi için enerji desteği sağlarlar.

Bu örnekler, kimyacıların tepkime mekanizmaları üzerinde ne kadar yaratıcı çalışmalar yapmak zorunda olduklarını göstermektedir. Ancak karmaşık tepkimeler için, herhangi bir mekanizmanın alternatifsiz olduğunu söyleyebilmek imkansızdır.

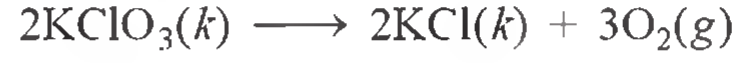
13.6 Kataliz

Hidrojen peroksitin bozunma tepkimesini incelerken, net eşitlikte yer almamasına rağmen tepkime hızının I^- iyonu derişimine bağlı olduğunu görmüştük. Aynı zamanda I^- iyonunun bu tepkimede bir katalizör olarak davrandığını da belirtmiştik. **Katalizör**, *eşik enerjisini düşürerek tepkime hızını arttıran bir maddedir*. Bu işlevini, alternatif tepkime yolları sağlayarak yerine getirir. Katalizör, tepkenle bir ara ürün oluşturmak üzere kullanılsa da, tepkimenin ileriki basamaklarında yeniden oluşur, yani böylece tepkime boyunca miktarı azalmamış olur.



Sıcaklık artışı da tepkime hızını artırır. Ancak yüksek sıcaklıklarda ürünler, başka tepkimelerde harcanabilir ve böylece verimi düşürebilir.

Laboratuvarında moleküler oksijeni elde etmek için Şekil 4.13(b)'de gösterildiği gibi bir miktar potasyum klorat ısıtılır. Tepkime şöyledir:



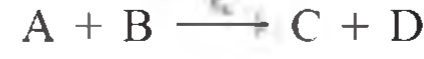
Bu ısıl bozunma tepkimesi eğer katalizör yoksa çok yavaştır. Ancak tepkime ortamına çok az miktarda siyahı bir toz olan mangan (IV) dioksit (MnO_2) katalizörü ilave edilirse, bozunma hızı çok artar. H_2O_2 'nin bozunmasında I^- iyonun tepkime sonunda aynı miktarda ortaya çıkmasına benzer şekilde, bu tepkimede de MnO_2 'nin tamamı tepkime sonunda harcanmadan geriye kalır.

Katalizörler, katalizör kullanılmayan duruma göre, tepkimenin daha uygun kinetikle basit basamaklar üzerinden gerçekleşmesini sağlayarak tepkime hızını artırır. Eşitlik (13.11)'den, tepkime hız sabiti k 'nın (ve dolayısıyla hızın) frekans faktörü A ve eşik enerjisi E_a 'ya bağlı olduğunu biliyoruz. Buna göre, A ne kadar büyük ve E_a ne kadar küçükse tepkime hızı da o kadar büyük olacaktır. Pek çok durumda, katalizörler tepkimenin eşik enerjisini düşürerek, tepkime hızının artmasını sağlarlar.

Aşağıdaki tepkimenin belirli bir k hız sabiti ve E_a enerjisine sahip olduğunu varsayalım:



Katalizör kullanıldığında tepkimenin hız sabiti k_c (katalitik hız sabiti) olsun.



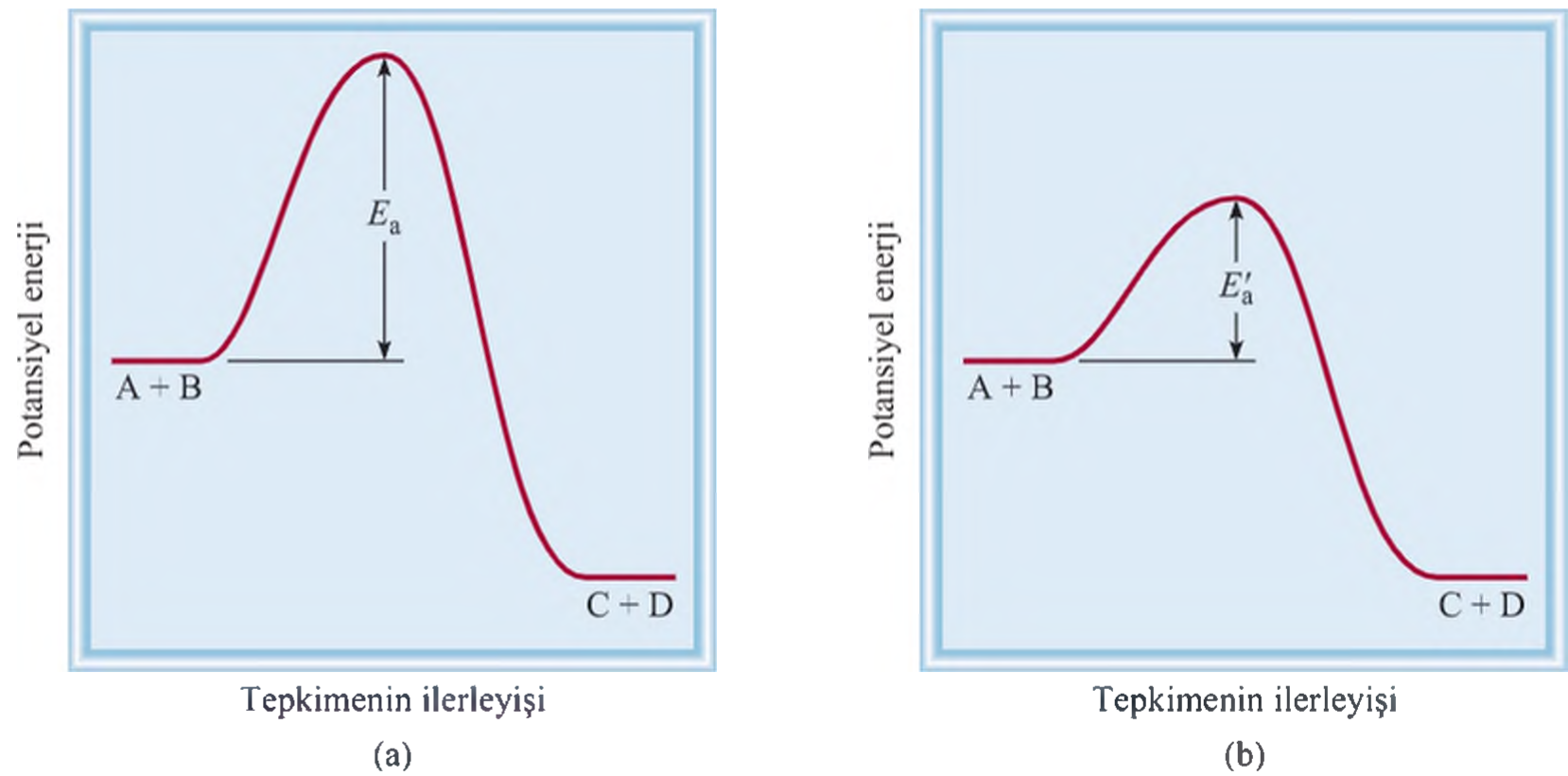
Katalizörün tanımına göre,

$$\text{hız}_{\text{katalizlenmiş}} > \text{hız}_{\text{katalizlenmemiş}}$$

olacaktır. Şekil 13.23 her iki tepkimenin potansiyel enerji profilini göstermektedir. Tepkenlerin (A ve B) ve ürünlerin (C ve D) toplam enerjilerinin katalizörden etkilenmediğine dikkat ediniz. İki durum arasındaki tek fark, eşik enerjisinin E_a dan E'_a ne düşmesidir. Ters yöndeki tepkimenin eşik enerjisi de düşeceği için, katalizör ileri ve geri yönlü tepkimelerin hızını eşit olarak artırır.

Tepkime hızlarını artıran katalizör maddesinin özelliğine bağlı olarak üç tür kataliz vardır: heterojen kataliz, homojen kataliz ve enzim katalizi.

Şekil 13.23 Katalizlenmiş ve katalizlenmemiş bir tepkimenin eşik enerjisi engellerinin karşılaştırılması. Katalizör enerji engelini düşürmekte, fakat tepken ve ürünlerin enerjilerine etki etmemektedir. Her iki durumda da tepken ve ürünler aynı olmasına karşın, (a) ve (b)'de hem tepkime mekanizmaları hem de hız ifadeleri de farklıdır.



Şekil 13.25 Ostwald işleminde platin-rodium katalizörü kullanılır.



500°C civarında ayrışabilirler. Çok etkin olan H ve N atomları yüksek sıcaklıkta hızlıca bir araya gelerek NH_3 moleküllerini oluştururlar:

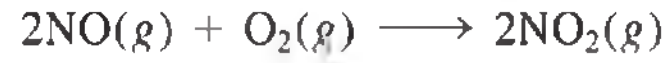


Nitrik Asit Üretimi

Nitrik asit en önemli inorganik asitlerden biridir. Gübre, boya, ilaç ve patlayıcı üretiminde kullanılır. Nitrik asidin en önde gelen üretim yöntemi *Ostwald*¹ işlemidir. Bu yöntemde, başlangıç maddeleri olan amonyak ve oksijen molekülleri, platin-rodium katalizörü eşliğinde 800 °C civarında ısıtılır (Şekil 13.25):



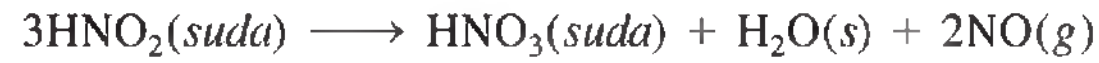
Oluşan azot monoksit hemen azot dioksit'e yükseltgenir (katalizlenmeden):



NO_2 suda çözülür, nitroz asit ve nitrik asit oluşur:



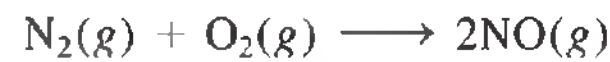
Nitroz asit ısıtılarak aşağıdaki gibi nitrik aside dönüştürülür:



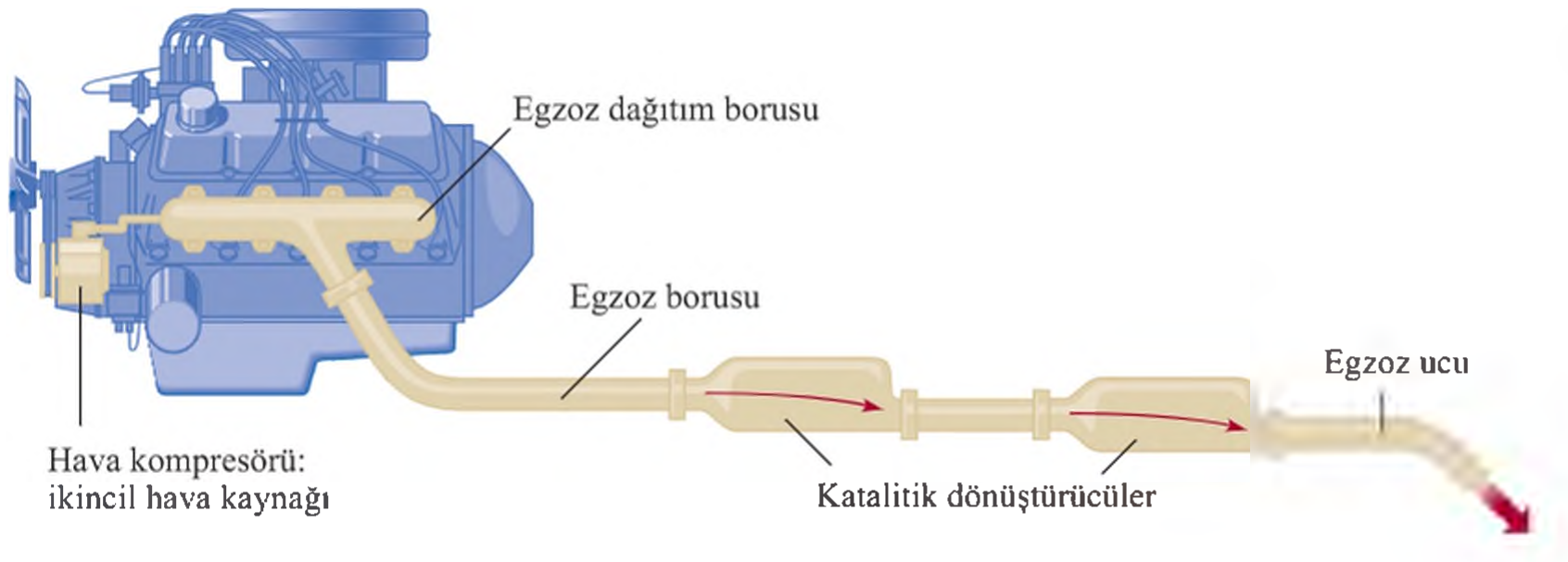
NO , ikinci basamakta NO_2 üretmek üzere tekrar kullanılabilir

Katalitik Dönüştürücüler

Çalışan bir araba motorunun içinde yüksek sıcaklıklarda azot ve oksijen gazları tepkimeye girerek azot monoksit gazı oluştururlar:



¹Wilhelm Ostwald (1853-1932). Alman kimyacı. Ostwald kimyasal kinetik, termodinamik ve elektrokimyaya önemli katkılarda bulunmuştur. Nitrik asit üretiminde kendi adıyla anılan endüstriyel bir işlem geliştirmiştir. 1909'da Nobel Kimya ödülünü almıştır.



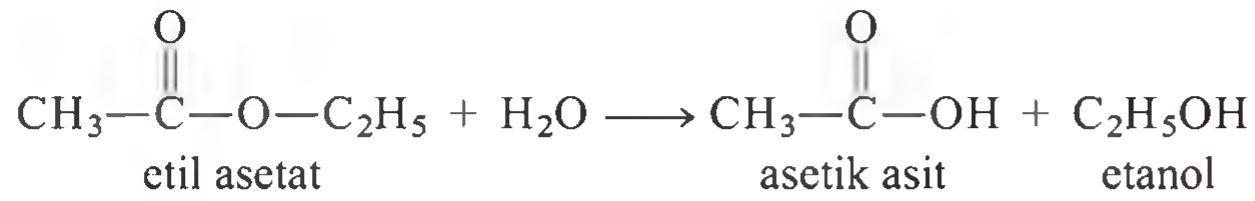
Şekil 13.26 Bir otomobildeki iki basamaklı katalitik dönüştürücü.

NO atmosfere salınır salınmaz O_2 ile birleşerek NO_2 'yi verir. Azot dioksit ve arabalardan yayılan karbon monoksit (CO) ve çeşitli yanmamış hidrokarbonlar gibi diğer gazlar, arabaları hava kirliliği oluşturan temel kirleticilerden biri yapmaktadır.

Yeni üretilen pek çok araba, katalitik dönüştürücülerle donatılmıştır (Şekil 13.26). Etkin bir katalitik dönüştürücünün iki temel işlevi vardır: CO ve yanmamış hidrokarbonları CO_2 ve H_2O 'ya yükseltmek; NO ve NO_2 'yi N_2 ve O_2 'ye indirmek. Bu işlemde, içine hava enjekte edilmiş sıcak egzoz gazları, dönüştürücünün ilk çemberinden geçirilerek hidrokarbonların tam yanmasını hızlandırılır ve böylece CO salını düşürülür (bir katalitik dönüştürücünün kesiti Şekil 13.27'de gösterilmektedir). Yüksek sıcaklık NO miktarını artırdığı için, egzoz gazı dışarı atılmadan önce, farklı bir katalizör (CuO veya Cr_2O_3 gibi bir geçiş metali veya oksidi) içeren ikinci bir çemberden geçirilir. Bu sırada NO'nun N_2 ve O_2 'ye ayrışması için gereken sıcaklığa düşülür ve ardından egzoz borusu aracılığı ile dışarı atılırlar.

Homojen Kataliz

Homojen katalizde tepkenler ve katalizör genellikle sıvı olan tek bir fazda dağılmıştır. Asit ve baz katalizleri, sıvı çözeltide yürüten homojen katalizin en önemli türüdür. Örneğin, etil asetatın, asetik asit ve etanol oluşturmak üzere su ile tepkimesi oldukça yavaş ilerler.



Katalizör yokken hız ifadesi,

$$\text{hız} = k[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] \text{ şeklinde verilir.}$$

Bu, daha önce bahsedilen yalancı-birinci dereceden bir tepkimedir.



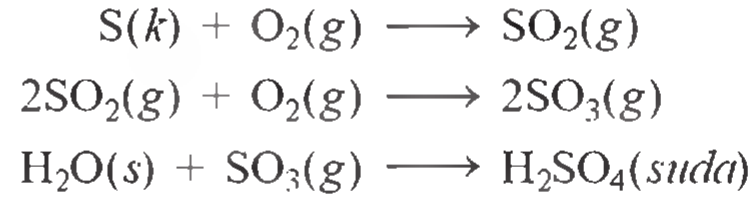
Şekil 13.27 Bir katalitik dönüştürücü kesitinin görünümü. Platin, paladyum ve rodyum içeren boncuklar CO ve hidrokarbonların, karbondioksit ve suya dönüşümünü katalizler.

Ancak bu tepkime bir asitle katalizlenebilir. Hidroklorik asit varlığında hızlanan tepkimenin hız ifadesi

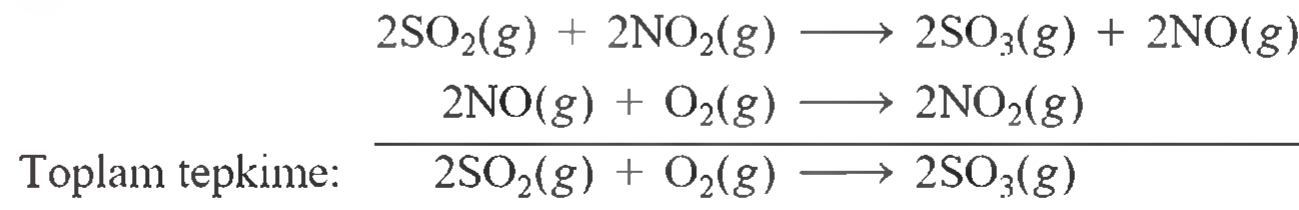
$$\text{hız} = k_c[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}^+]$$

şeklindedir. $k_c > k$ olduğundan tepkime hızını, tepkimenin katalizlenen kısmı tayin eder.

Homojen kataliz gaz fazında da yer alabilir. İyi bilinen katalizlenmiş bir gaz fazı tepkimesi, sülfürik asidin üretiminde yıllardır kullanılan kurşun odalar yöntemidir. Kükürtten başlayarak sülfürik asit üretiminde aşağıdaki basamaklar görülmüştür:

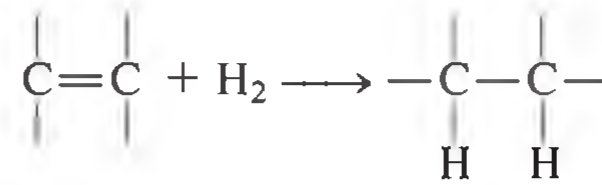


Gerçekte, kükürt dioksit doğrudan doğruya kükürt trioksite dönüşmez. Bu yükseltgenme, daha ziyade azot dioksit katalizörü varsa verimli olarak yürütebilir:



Toplam tepkimede NO_2 kaybının olmadığına dikkat ediniz. Yani NO_2 katalizör olma ölçütünü karşılar.

Son yıllarda kimyacılar, geçiş metali sınıfından bileşiklerin homojen katalizde kullanılabilmesi için çok çaba harcamaktadırlar. Bu bileşikler çeşitli organik çözücülerde çözünebilmekte ve bu nedenle ancak aynı fazda çözünen tepkenlerin tepkimelerini katalizleyebilmektedirler. Bunlar pek çok organik işlemlerde katalizör olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin, rodyumun kırmızı-mor renkli bir bileşiği, $[(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{P}]_3\text{RhCl}$, karbon-karbon ikili bağının, karbon-karbon tekli bağa dönüşmesi tepkimesini aşağıdaki gibi katalizler:

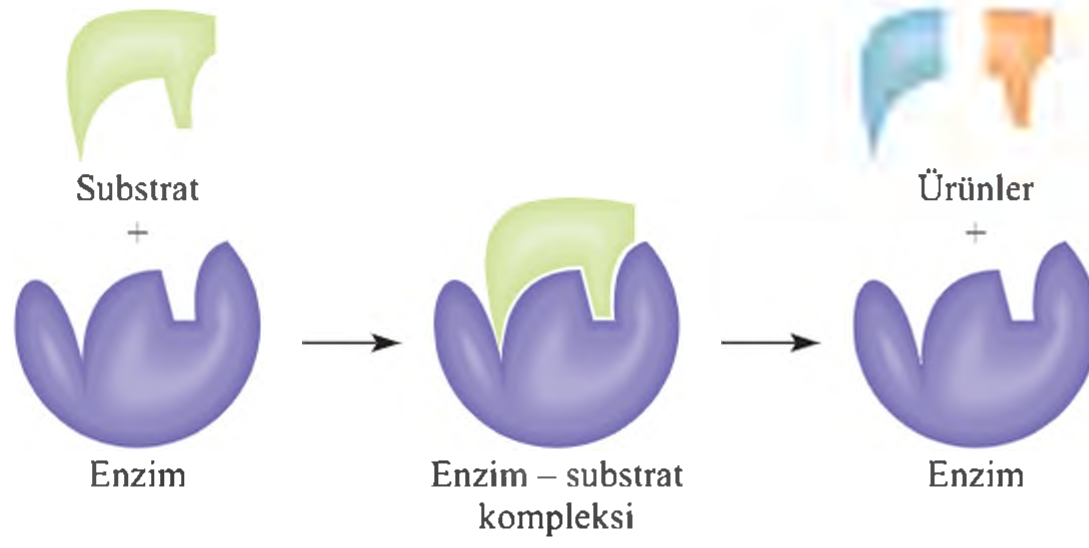


Bu tepkime, gıda endüstrisinde çok önemlidir. "Doymamış yağların" (pek çok $\text{C}=\text{C}$ bağı içeren) "doymuş yağlara" ($\text{C}=\text{C}$ bağı içermeyen veya çok az içeren) dönüştürülmesinde kullanılır.

Homojen katalizin, heterojen katalize çeşitli üstünlükleri vardır. Bir tanesi, tepkimelerin genellikle atmosfer koşulları altında yürütmesidir. Böylece üretim maliyetleri düşmekte ve yüksek sıcaklıkta ürünün bozunması en az düzeyde kalmaktadır. İlave olarak, homojen kataliz, belli bazı tip tepkimelerde seçici türde işlev görmesi için tasarlanabilir. Son olarak, homojen katalizin maliyeti, heterojen katalizde değerli metaller (örneğin platin ve altın) kullanıldığı için daha düşüktür.

Enzim Katalizi

Canlı sistemlerde birçok karmaşık kimyasal tepkime olmasına rağmen bunların hiçbirisi enzim tepkimeleri kadar önemli ve hayati değildir. **Enzimler biyolojik katalizörlerdir.** Enzimlerin olağanüstü yanları sadece biyokimyasal tepkimelerin hızlarını 10^6 – 10^{18} mertebesinde arttırmaları değil aynı zamanda "tepkimeye özel" olmalarıdır. Bir enzim, *substrat* (yani bir tepken) olarak adlandırılan yalnızca tek bir moleküle karşı etkin iken, sistemin geri kalanına karşı tepkisizdir. Canlı bir *hücrede* ortalama

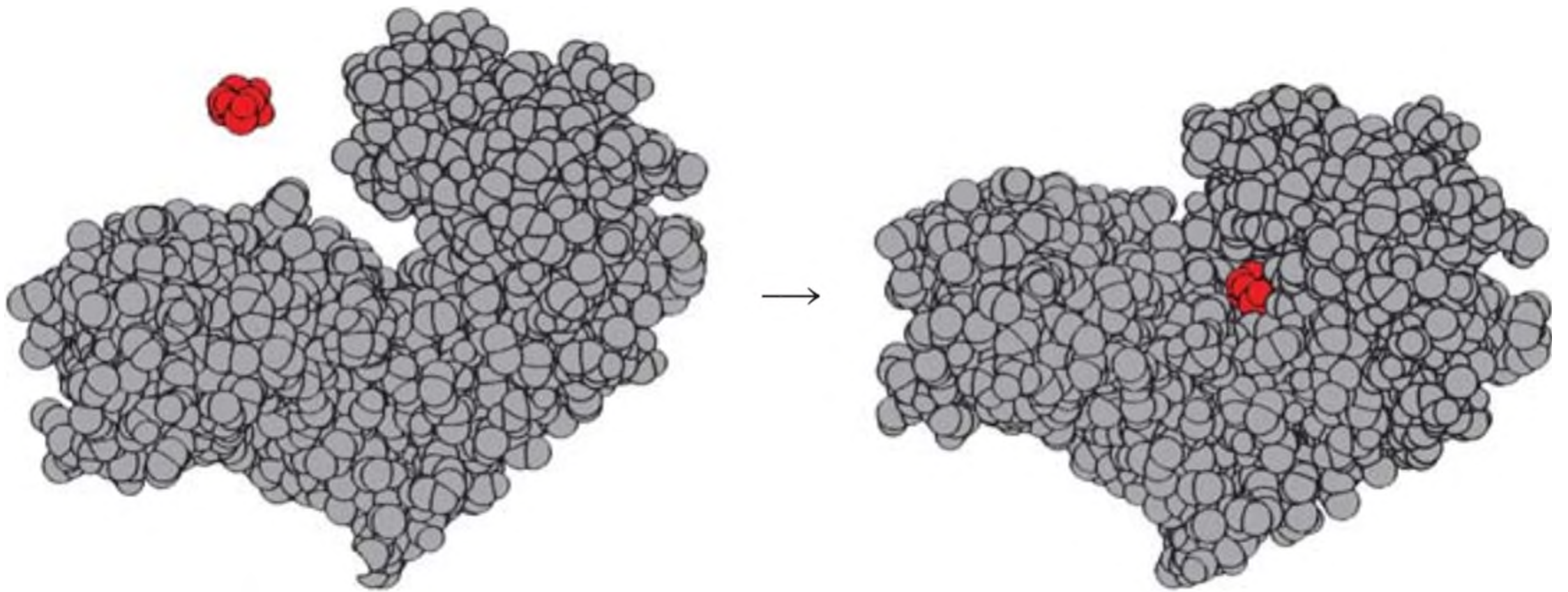


Şekil 13.28 Substrat molekülerine özgün bir enzimin, anahtar-kilit modeli.

3000 farklı enzimin olduğu tahmin edilmektedir. Her bir enzim tek bir özel tepkimeyi katalizleyerek substrattan istenen ürünün oluşumunu sağlamaktadır. Substrat ve enzimler sulu çözeltide bulundukları için enzim katalizi genellikle homojendir.

Bir enzim, bir veya daha fazla *etkin uç* içeren özgün ve büyük bir protein molekülüdür. Substrat bu uçlarla etkileşir. Bu çıkıntılar yapısal olarak yalnızca özel tek bir substrat tipine uyular ve bu durum bir anahtarın yalnızca tek bir kilide tam olarak uymasına benzetilebilir. Anahtar-kilit kuramı olarak adlandırılan enzim katalizi ile ilgili bu ilk kuram, Alman kimyacı Emil Fischer¹ tarafından 1894'de geliştirilmiştir (Şekil 13.28). Fischer hipotezi enzimlerin özgünlüğünü açıklamakla beraber tek bir enzimin farklı büyüklük ve şekillerdeki substratlara bağlanabildiğini gösteren araştırmalarla ters düşer. Kimyacılar artık enzim moleküllerinin (ya da en azından etkin uçlarının) esnek bir yapıya sahip olduklarını ve şekillerini bir tip substrattan daha fazlasının yerleşmesine imkan vermek üzere değiştirebileceklerini biliyorlar. Şekil 13.29, hareket halindeki bir enzim molekülünün modelini göstermektedir.

¹Emil Fischer (1852-1919). Alman kimyacı. Pek çok kişiye göre on dokuzuncu yüzyılın en büyük organik kimyacıdır. Fischer, şekerlerin ve diğer bazı önemli moleküllerin sentezi için çok değerli katkılarda bulunmuştur. 1902'de Nobel Kimya Ödülünü almıştır.

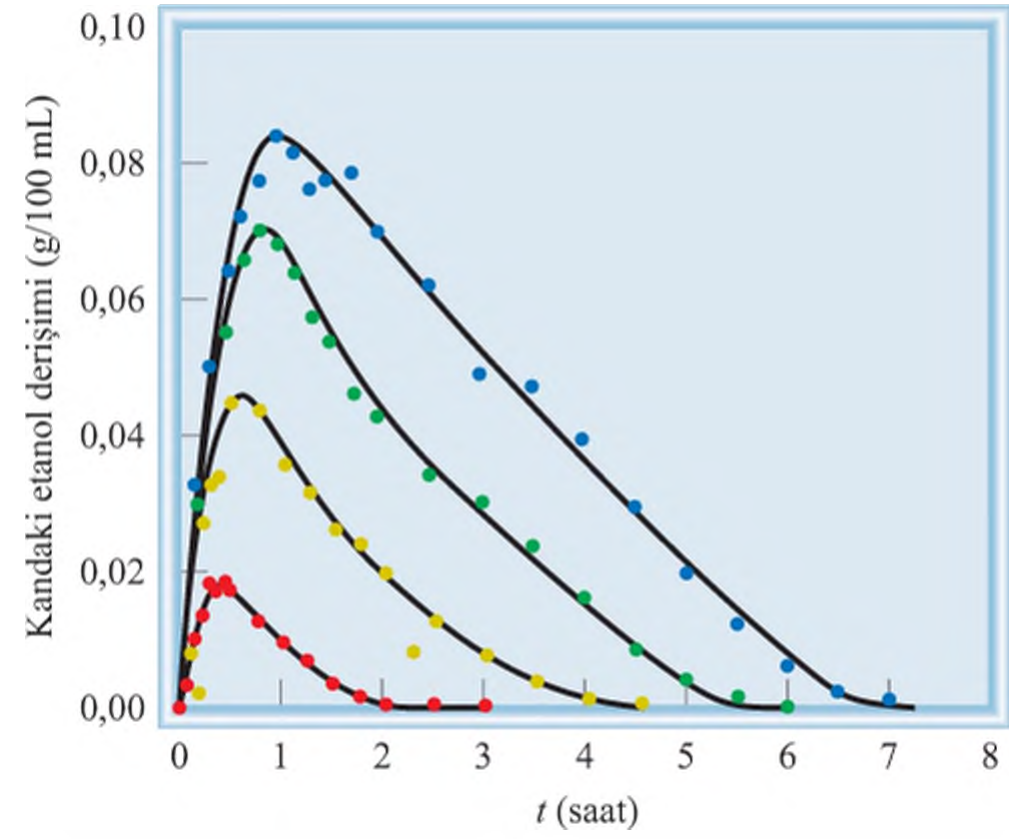


Şekil 13.29 Soldan sağa: Glukoz molekülünün (kırmızı) hekzokinaza (metabolik yoldaki bir enzim) bağlanması. Aktif uçların olduğu bölgenin bağlanmadan sonra glükozun etrafını nasıl kapadığına dikkat ediniz. Hem substratın hem de aktif ucun geometrisi birbirlerine uyacak şekilde sık sık değişmektedir.

Farmakokinetik

Kimyasal kinetik, vücuttaki ilaçların soğurulması, dağıtımı, metabolize olması ve atılması mekanizmalarını anlamak için çok önemli bir araçtır. Farmakokinetik bir bakıma vücudun ilaca ne yaptığını inceler. Farmakodinamik ise bunun tersi olarak ilacın vücutta ne yaptığı konusunu ele alır. Bir ilacın dozunu doğru olarak ayarlamak ve etki mekanizmasını anlayabilmek için, ilacın vücuttaki soğurum ve dağılım hızlarını bilmemiz gerekir.

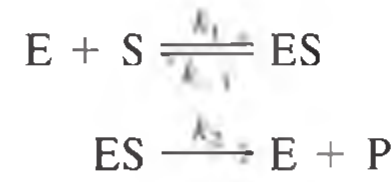
İlaç derişimini genel olarak değişik zamanlarda kan plazması veya idrarda ölçülür ve zamana karşı ilaç derişimi grafiği elde edilir. İlaç kan dolaşımına girdiğinde, kan dolaşımı ile vücuttaki çeşitli doku ve organlara dağılır ve eş zamanlı olarak hem metabolize olur (biyo-dönüşüm) hem de boşaltım yoluyla atılır. Tüm bu süreçlerin hızları ilaca bağlı olarak farklılık gösterir. Bu işlemlerin toplamını ilaç salınım ve dağıtım mekanizması olarak değerlendirilir. İlaçlar farklı organlara, kan ve idrar gibi sulu sistemlerle yağ dokularına dağılmak durumundadırlar. Pek çok biyolojik işlemlere enzimlerin katılımı söz konusudur. İlaçların farmakokinetiği, homojen çözeltilerdeki tepkime kinetiğinden ziyade sıfırıncı dereceden kinetik modeline uyar. Örneğin etanolün alkol dehidrojenaz enzimi aracılığı ile bozunması etanole göre sıfırıncı derecedendir.



Çeşitli dozlarda ağızdan alınan etanolün, zaman içinde kandaki derişimi: kırmızı (14 g), sarı (28 g), yeşil (42 g), mavi (56 g)

Genellikle bir ilacın soğurulması atılmasından daha hızlıdır. Soğurma eğrisi daha kademeli bir düşüş ile gösterilen atılma eğrisi ile kıyaslandığında daha dik yükselen bir derişim ile gös-

Enzim kinetiğinin matematiksel olarak incelenmesi, tepkimenin temel basamakları üzerinden yürüdüğüünün bilinmesine rağmen çok karmaşıktır. Basitleştirilmiş bir tepkime taslağı aşağıdaki gibidir:



Burada E, S ve P sırasıyla enzim, substrat ve ürün, ES'de enzim substrat ara ürününü göstermektedir. Genellikle ES oluşumu ve oluşan ES'nin tekrar enzim ve substrata parçalanma tepkimesinin çok hızlı bir tepkime olduğu kabul edildiğinden, hız belirleyen basamak ürünün(P) oluşma basamağıdır (Bu durum s.599'da anlatılan HI'nın oluşumu tepkimesine benzer.)

Bu tür tepkimelerin hızları genel olarak

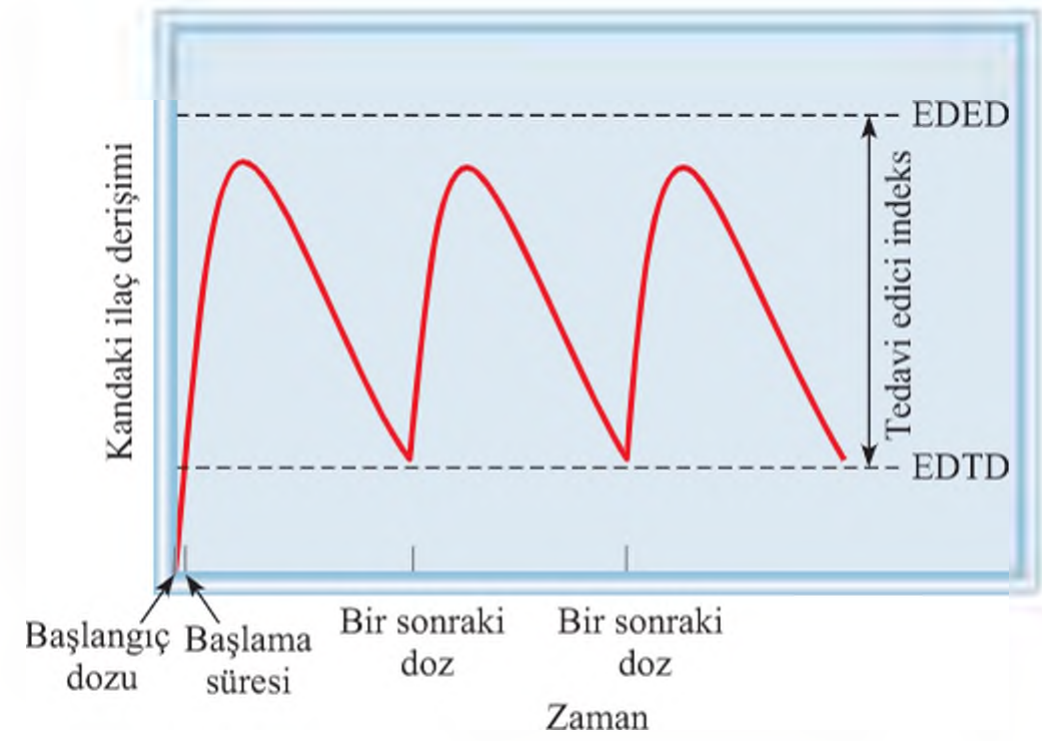
$$\text{hız} = \frac{\Delta[P]}{\Delta t}$$

$$= k_2[ES]$$

eşitliği ile verilir.

terilir. *En düşük etkin derişim* (EDED), ilacın istenilen tedavi edici etkiyi verebilecek en düşük derişim değeridir. *En düşük toksik derişim* (EDTD) ise, ilacın toksik hale geldiği veya yararını ortadan kaldıran istenmeyen yan etkilerin ortaya çıktığı derişim değeridir. EDED ve EDTD birlikte değerlendirilerek *tedavi edici indeks* tanımlanır. Farmakokinetiğin önemli bir hedefi ilaç dozunu bu tedavi edici indeks içinde kalacak derişimlerde ayarlamaktır: bu da EDED üzerinde ancak EDTD altında olmak demektir. Örneğin amoksisilin gibi pek çok antibiyotik oldukça geniş bir tedavi edici indekse sahipken, Coumadin® gibi antikoagülan ilaçlar (kan inceltici) çok dar bir tedavi edici indekse sahiptir. Doğru dozajın tayin edilebilmesi, parçalanmadan kaynaklanan yok olmaya, biyo-dönüşüme ve dışarı atılma hızlarına olduğu kadar ilaç salın kinetiğine de bağlıdır. Bu dozu belirlerken kişinin vücut ağırlığı da önemlidir. Çünkü kan hacmi vücut ağırlığı ile ilişkilidir ve dolaşımdaki kan hacmi ilaç derişimini belirler. Doktor ve hemşireler doz ayarlaması yaparken, farmakokinetik çalışmalara dayanarak düzenlenen *Physician's Desk Reference* (PDR) gibi dozaj kartlarını referans alırlar.

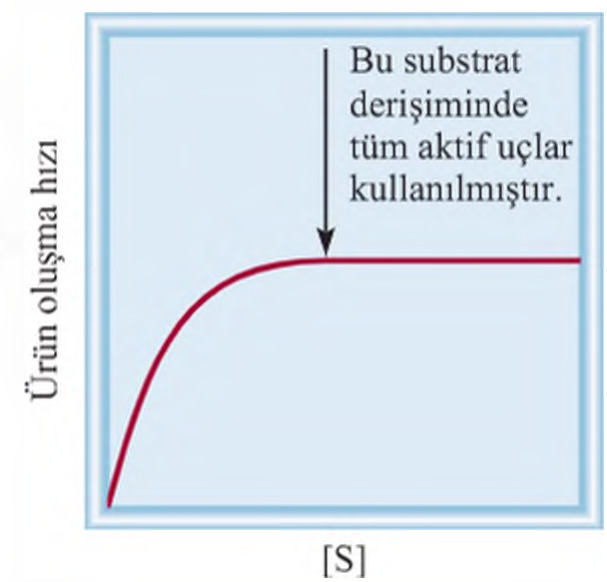
Başlama zamanı, ilaç alındıktan sonra EDED değerine ulaşarak tedavi edici aralığa girilmesi için gereken süredir. Bazen doktorlar yüksek bir dozda ilaç (*yükleme dozu*) vererek başlama süresini kısaltırlar. Bundan sonra ilaç derişimi tedavi edici indeks içinde karakteristik “testere dişi” tipinde bir görüntü vere-



Zamanın bir fonksiyonu olarak kandaki ilaç derişimi. Alındıktan sonra ilaç derişimi önce artar ve sonra da ilaç metabolize edilip atıldıkça düşer. Bu işlem her yeni bir doz alındıkça tekrarlanır ve “testere dişine” benzer karakteristik bir görüntü verir.

cek şekilde ayarlanmalıdır. İlaç ihtiyacı olduğu sürece doz ayarlaması devam eder. Ancak, ilaca fizyolojik uyum sağlayabilmek için bir uzatma da gerekebilir. Bir takım ilaçlar için (örneğin bazı steroidler) aniden kesme yerine ilaç dozu iyice azaltılarak vücudun sistemik şoka girmesi engellenir.

ES ara ürününün derişimi mevcut substratın miktarı ile orantılı olup substrat derişimine karşı hız grafiği Şekil 13.30’daki gibi bir eğri verir. Başlangıçta hız, substrat derişiminin artışı ile yükselir. Tüm etkin uçların kullanıldığı belirli bir derişime ulaşıldığında ise tepkime substrata göre sıfırmı dereceden yürümeye başlar. Diğer bir deyişle, substrat derişimi artmaya devam etse bile hız sabit kalır. Bu andan itibaren ürünün oluşma hızı mevcut substrat moleküllerinin sayısına değil, sadece ES ara ürününün ne kadar hızla parçalandığına bağlıdır.



Şekil 13.30 Enzim-katalizli bir tepkimede, substrat derişimine karşı ürün oluşum hızı grafiği.

Kavramların Değerlendirilmesi

Katalizle ilgili olarak aşağıdakilerden hangisi yanlıştır: (a) Katalizlenmiş bir tepkimede E_a daha düşüktür. (b) Katalizlenmiş bir tepkime için ΔH_{tep} daha düşüktür. (c) Katalizlenmiş bir tepkime farklı bir mekanizmaya sahiptir.

Anahtar Eşitlikler

$$\text{hız} = k[A]^x[B]^y \quad (13.1)$$

Hız yasası ifadesi. $(x + y)$ toplamı tepkimenin toplam derecesini verir.

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt \quad (13.3)$$

Birinci dereceden bir tepkime için zamanla derişim arasındaki ilişki.

$$\ln [A]_t = -kt + \ln [A]_0 \quad (13.4)$$

Birinci dereceden bir tepkimede k 'nın grafiksel olarak belirlenmesi eşitliği.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (13.6)$$

Birinci dereceden bir tepkimenin yarı ömrü.

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0} \quad (13.7)$$

İkinci dereceden bir tepkime için zamanla derişim arasındaki ilişki.

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (13.11)$$

Hız sabitini, eşik enerjisi ve sıcaklığa bağlayan Arrhenius eşitliği.

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + \ln A \quad (13.13)$$

Eşik enerjisinin grafiksel olarak belirlenmesi eşitliği.

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) \quad (13.14)$$

İki farklı sıcaklıktaki hız sabitleri arasındaki ilişki.

Olguların ve Kavramların Özeti

1. Bir kimyasal tepkimenin hızı, tepkenlerin ya da ürünlerin derişimlerinin zamanla değişimidir. Kimyasal tepkimenin hızı sabit değildir. derişimler değiştikçe hız da sürekli olarak değişir.
2. Hız yasası tepkime hızı ile hız sabiti ve tepken derişimlerinin kuvvetleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Verilen bir tepkimenin k hız sabiti, sadece sıcaklıkla değişir.
3. Tepkime derecesi, hız ifadesinde yer alan tepken derişiminin kuvvetidir. Bir tepkimenin toplam derecesi, hız ifadesindeki tepken derişimlerinin kuvvetlerinin (üslerinin) toplamıdır. Hız yasası ve tepkime derecesi, denkleştirilmiş net eşitliğin stokiyometrisinden belirlenebilir; ancak deneysel olarak saptanabilir. Sıfırıncı dereceden tepkimelerde tepkime hızı, hız sabitine eşittir.
4. Bir tepkimenin yarı ömrü (tepken derişiminin yarıya inmesi için geçen süre) birinci dereceden tepkimelerin hız sabitini belirlemede kullanılabilir.
5. Çarpışma kuramına göre, eşik enerjisi olarak tanımlanan yeterli miktarda enerjiye sahip olan moleküller çarpıştıklarında, bağlar kırılır ve tepkime başlar. Arrhenius eşitliği, hız sabiti ile eşik enerjisini ilişkilendirir.
6. Bir tepkimenin denkleştirilmiş net eşitliği, basit basamaklar olarak adlandırılan bir dizi basit tepkimenin toplamıdır. Tepkime mekanizması, tepkimenin yürüttüğü basit basamaklar dizisinin tamamıdır.
7. Tepkime mekanizmasındaki bir basamak diğer basamaklara göre çok daha yavaşsa bu basamak hızı belirleyen basamaktır.
8. Katalizör, genellikle E_a değerini düşürerek tepkime hızını artırır. Katalizör, tepkime sonunda miktarı değişmeden geri kazanılır.
9. Büyük endüstriyel öneme sahip olan heterojen katalizde, katalizör bir katı, tepkenler ise sıvı veya gazdır. Homojen katalizde, katalizör ve tepkenler aynı fazdadır. Canlı sistemlerin katalizörleri ise enzimlerdir.

Anahtar Kelimeler

Aktifleşmiş kompleks, s. 591	Enzim, s. 606	İki molektüllü tepkime, s. 596	Tepkime hızı, s. 565
Ara ürün, s. 596	Eşik enerjisi (E_a), s. 591	İkinci dereceden tepkime, s. 584	Tepkime mekanizması, s. 596
Basit basamak, s. 596	Geçiş hali, s. 591	Kataliz, s. 601	Tepkime molektülerliği, s. 596
Bir molektüllü tepkime, s. 596	Hız belirleyen basamak, s. 597	Kimyasal kinetik, s. 565	Üç molektüllü tepkime, s. 596
Birinci dereceden tepkime, s. 577	Hız sabiti (k), s. 569	Tepkime derecesi, s. 573	Yarı-ömür ($t_{1/2}$), s. 582
	Hız yasası, s. 573		

Sorular ve Problemler

Bir Tepkimenin Hızı

Tarama Soruları

- 13.1 Bir kimyasal tepkimenin hızı ne demektir? Tepkime hızının birimi nedir?
- 13.2 Ortalama hız ile anlık hız arasındaki fark nedir? Hangisi bir tepkimenin hızını ölçmekte açık bir bilgi verir? Neden?
- 13.3 Bir tepkimenin başlangıç hızını ölçmenin yararı nedir?
- 13.4 Çok yavaş (tamamlanması günler alan) ve çok hızlı (dakikalar hatta saniyeler içinde biten) tepkimelere ikişer örnek veriniz?

Problemler

- 13.5 Aşağıdaki tepkimelerin hızlarını, tepkenlerin harcanması ve ürünlerin oluşması cinsinden yazınız.
 - (a) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HI}(\text{g})$
 - (b) $5\text{Br}^-(\text{suda}) + \text{BrO}_3^-(\text{suda}) + 6\text{H}^+(\text{suda}) \longrightarrow 3\text{Br}_2(\text{suda}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{s})$

- 13.6 Aşağıdaki tepkimeler için hız ifadelerini, tepkenin kaybolması ve ürünün ortaya çıkması cinsinden yazınız:

- (a) $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- (b) $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

- 13.7 Aşağıdaki tepkimeyi göz önüne alınız:

$$2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$$

Tepkimenin belirli bir anında azot monoksidin (NO) harcanma hızı 0.066 M/s ise (a) NO_2 'nin oluşma hızı nedir? (b) Oksijen hangi hızda tepkimeye girer?

- 13.8 Aşağıdaki tepkimeyi göz önüne alınız:

$$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$$

Tepkimenin belirli bir anında hidrojenin harcanma hızı 0.074 M/s ise (a) Amonyakın oluşma hızı nedir?

(b) Azotun harcanma hızı nedir?

Hız Yasası

Tarama Soruları

- 13.9 Bir tepkimenin hız yasası ne anlama gelir?
- 13.10 Sıfıncı, birinci ve ikinci dereceden tepkimelerin hız sabitlerinin birimi nedir?
- 13.11 “ $\text{A} \longrightarrow \text{ürünler}$ ” şeklindeki sıfıncı dereceden bir tepkimeyi ele alınız. (a) Tepkimenin hız ifadesini yazınız. (b) Hız sabitinin birimi nedir? (c) Tepkime hızını $[\text{A}]$ 'ya karşı grafiğe geçirin.
- 13.12 Hız sabiti şu niceliklerden hangisine bağlıdır: (a) tepken derişimi, (b) tepkenin doğası, (c) sıcaklık?

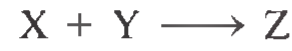
Problemler

- 13.13 $\text{NH}_4^+(\text{suda}) + \text{NO}_2^-(\text{suda}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ tepkimesinin hız ifadesi, $\text{hız} = k[\text{NH}_4^+][\text{NO}_2^-]$ şeklinde verilmektedir. 25°C 'da hız sabiti $3.0 \times 10^{-4} \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 'dir. $[\text{NH}_4^+] = 0.26 \text{ M}$ ve $[\text{NO}_2^-] = 0.080 \text{ M}$ ise bu sıcaklıktaki hızı hesaplayınız.
- 13.14 Çizelge 13.2'deki verilerden yola çıkarak $[\text{F}_2] = 0.010 \text{ M}$ ve $[\text{ClO}_2] = 0.020 \text{ M}$ iken tepkime hızını hesaplayınız.
- 13.15 Aşağıdaki tepkimeyi ele alınız:

$$\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{ürün}$$

Belli bir sıcaklıkta elde edilen aşağıdaki verilerden tepkime derecesini ve hız sabitini hesaplayınız.

[A] (M)	[B] (M)	Hız (M/s)
1,50	1,50	$3,20 \times 10^{-1}$
1,50	2,50	$3,20 \times 10^{-1}$
3,00	1,50	$6,40 \times 10^{-1}$

13.16 Aşağıdaki tepkime için

360 K'de şu veriler elde edilmiştir.

X'in Başlangıç Harcama Hızı X (M/s)	[X] (M)	[Y] (M)
0,053	0,10	0,50
0,127	0,20	0,30
1,02	0,40	0,60
0,254	0,20	0,60
0,509	0,40	0,30

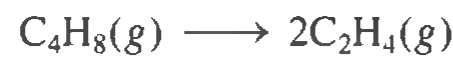
(a) Tepkimenin derecesini belirleyiniz. (b) X'in derişimi 0,30 M ve Y'nin derişimi 0,40 M iken X'in başlangıç harcama hızını tayin ediniz.

- 13.17 Verilen hız yasalarına göre tepkimelerin toplam derecelerini bulunuz: (a) $\text{hız} = k[\text{NO}_2]^2$, (b) $\text{hız} = k$, (c) $\text{hız} = k[\text{H}_2][\text{Br}_2]^{\frac{1}{2}}$, (d) $\text{hız} = k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$.

13.18 Aşağıdaki tepkimeye göre

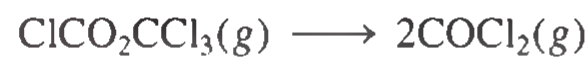
A'nın derişimi 0,35 M iken tepkime hızı $1,6 \times 10^{-2}$ M/s'dır. Tepkime (a) A'ya göre birinci dereceden ve (b) A'ya göre ikinci dereceden ise hız sabitini hesaplayınız.

- 13.19 Siklobütan aşağıdaki tepkimeye göre etilene parçalanır.



Tepkime 430°C'de sabit hacimde yürütüldüğünde kaydedilen basınç değerlerine dayanarak tepkime derecesini ve hız sabitini bulunuz.

Zaman (s)	$P_{\text{C}_4\text{H}_8}$ (mmHg)
0	400
2,000	316
4,000	248
6,000	196
8,000	155
10,000	122

13.20 Aşağıdaki gaz fazı tepkimesi sabit hacimde 290 °C'de incelenmiş ve zamanla basınç değişimi takip edilmiştir.

Aşağıdaki verileri kullanarak tepkime derecesini ve hız sabitini bulunuz. P Toplam basınçtır.

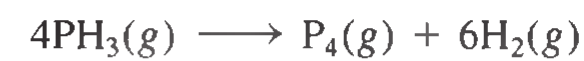
Zaman (s)	P (mmHg)
0	15,76
181	18,88
513	22,79
1164	27,08

Tepken Derişimi ve Zaman Arasındaki İlişki**Tarama Soruları**

- 13.21 Birinci dereceden bir tepkime için. A tepkenin $t = 0$ 'daki derişimini $t = t'$ 'deki derişimine bağlayan bir eşitlik yazınız. Tüm terimleri tanımlayıp birimlerini veriniz. Aynı işlemi ikinci dereceden tepkime için yapınız.
- 13.22 Tepkime yarı ömrünü tanımlayınız. Birinci dereceden tepkimelerin yarı ömrünü hız sabitine bağlayan eşitliği yazınız.
- 13.23 İkinci dereceden tepkimelerin yarı ömrünü hız sabitine bağlayan eşitliği yazınız. Bu eşitliğin birinci derece tepkime eşitliğinden farkları nelerdir?
- 13.24 Birinci dereceden bir tepkimede. tepken derişiminin başlangıç değerinin sekizde birine düşmesi ne kadar zaman alır? Cevabınızı yarı ömür ($t_{\frac{1}{2}}$) ve k hız sabiti terimlerini içerecek şekilde veriniz.

Problemler

- 13.25 Bir bileşiğin yüzde 75'inin bozunması için geçen süre 60 dakika ise yarı ömrü nedir? Birinci dereceden kinetiği göz önüne alınız.

13.26 Fosfinin (PH_3), fosfor (P_4) ve hidrojene ısı bozunma tepkimesi birinci dereceden yürür:

Tepkimenin yarı ömrü 680°C'de 35,0 saniyedir. (a) Birinci derece hız sabitini (b) fosfinin yüzde 95'inin bozunması için gerekli süreyi hesaplayınız.

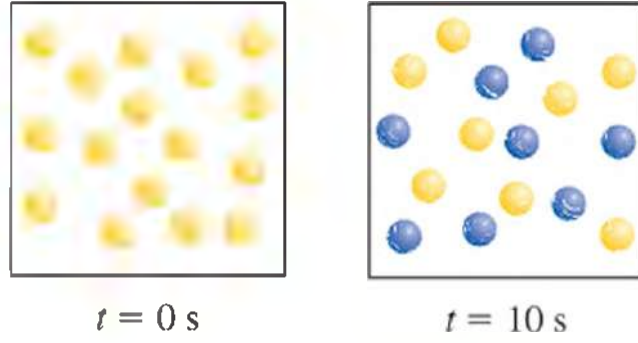
- 13.27 $2\text{NOBr}(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g) + \text{Br}_2(g)$

tepkimesinin ikinci dereceden hız sabiti 10 °C'de 0,80/M·s'dir. (a) NOBr'un başlangıç derişimi 0,086 M ise 22 s sonraki derişimi nedir? (b) $[\text{NOBr}]_0 = 0,072$ M ve $[\text{NOBr}]_0 = 0,054$ M durumları için yarı ömürleri hesaplayınız.

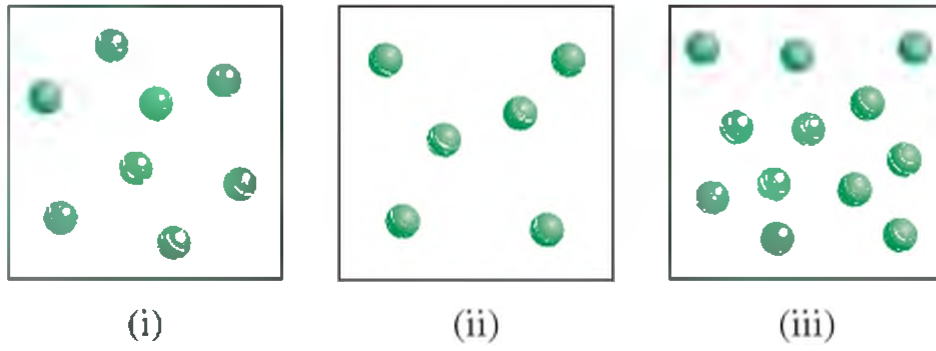
13.28 $2\text{NO}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g)$

tepkimesinin ikinci dereceden hız sabiti 300 °C'de 0,54/M·s'dir. NO_2 'nin derişiminin 0,62 M'dan 0,28 M'a inmesi kaç saniye sürer?

- 13.29 $A \longrightarrow B$ şeklindeki birinci dereceden tepkimeyi ele alalım. (a) Tepkimenin hız sabiti nedir? (b) $t = 20$ s ve 30 s sonra kaç tane A (sarı) ve B (mavi) molekülü vardır?



- 13.30 Aşağıda şekillerle gösterilen $X \longrightarrow Y$ tepkimesi birinci dereceden kinetikte yürümektedir. Başlangıçta farklı miktarlarda X molekülleri aynı sıcaklıktaki eşit hacimli kaplara konulmuştur. (a) Bu üç kaptaki tepkime hızlarının birbirine oranları nasıldır? (b) Her kabın hacmi iki kat artırılırsa göreceli hızlar nasıl etkilenir? (c) (i) ve (iii)'deki tepkimelerin yarı ömürleri birbirine göre nasıldır?



Eşik Enerjisi

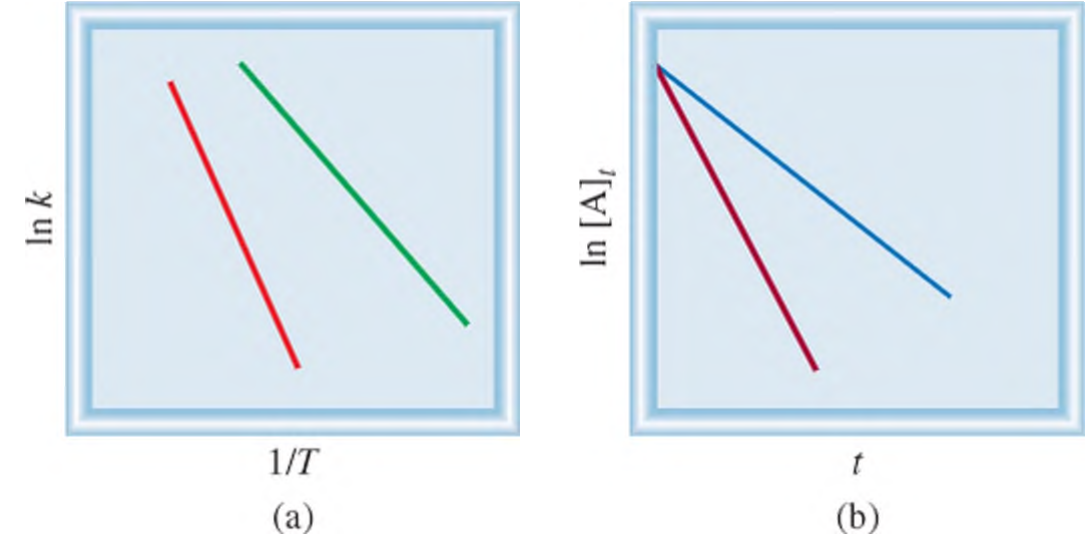
Tarama Soruları

- 13.31 Eşik enerjisini tanımlayınız. Eşik enerjisinin kimyasal kinetikte oynadığı rol nedir?
- 13.32 Arrhenius eşitliğini yazınız ve tüm terimlerini açıklayınız.
- 13.33 Arrhenius eşitliğini kullanarak hız sabitinin (a) eşik enerjisinin artışı ile azaldığını ve (b) sıcaklık artışı ile arttığını gösteriniz.
- 13.34 Bilindiği gibi, metan oksijenle oldukça ekzotermik bir tepkimeyle yanar. Yine de metan ve oksijen gazından oluşan bir karışım herhangi bir değişim olmaksızın sonsuza kadar bir arada saklanabilir. Bunun nasıl olabildiğini açıklayınız.
- 13.35 Aşağıdaki tepkimeler için potansiyel enerjiye karşı tepkime ilerleyişini grafiğe geçirin:
- (a) $S(k) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$ $\Delta H^\circ = -296$ kJ/mol
- (b) $Cl_2(g) \longrightarrow Cl(g) + Cl(g)$ $\Delta H^\circ = 243$ kJ/mol
- 13.36 $H - H_2 \longrightarrow H_2 - H$ tepkimesi uzun yıllardır çalışılmaktadır. Bu tepkime için potansiyel enerjinin tepkimenin ilerleyişi ile nasıl değişeceğini grafikte gösteriniz.

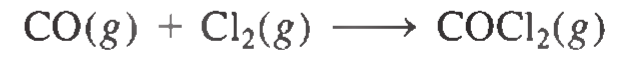
Problemler

- 13.37 Aşağıdaki şekillere göre cevaplandırınız: (1) (a)'da verilen diyagram, birinci dereceden bir tepkimenin

$1/T$ 'ye karşı $\ln k$ grafiklerini göstermektedir. Burada T mutlak sıcaklık k 'da hız sabitidir. Hangi tepkime daha yüksek eşik enerjisine sahiptir? (2) (b)'de verilen diyagram, iki farklı sıcaklıkta yürüten birinci dereceden bir tepkime grafiğini göstermektedir. Hangi doğru daha yüksek sıcaklığa aittir?



- 13.38 Aynı tepken derişimleri esas alındığında aşağıdaki tepkimenin 250 °C'deki hızı. 150 °C'dekine göre $1,50 \times 10^3$ kat daha hızlıdır.



Bu tepkimenin eşik enerjisini hesaplayınız. Frekans faktörünün sabit olduğunu varsayınız.

- 13.39 Paralel tepkimeler olarak tanımlanan bazı tepkimelerde tepken. aynı anda farklı hız sabitleri ile yürüten tepkimelerle farklı ürünler meydana getirir. Örnek olarak:



ve



Eşik enerjileri k_1 için 45,3 kJ/mol ve k_2 için 69,8 kJ/mol'dür. Eğer 320 K'de hız sabitleri eşit ise, hangi sıcaklıkta $k_1/k_2 = 2,00$ olur?

- 13.40 Birinci dereceden



tepkimesinde, hız sabitinin sıcaklıkla değişimini aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Tepkimenin eşik enerjisini grafik yoluyla bulunuz.

T (K)	k (s^{-1})
298	$1,74 \times 10^{-5}$
308	$6,61 \times 10^{-5}$
318	$2,51 \times 10^{-4}$
328	$7,59 \times 10^{-4}$
338	$2,40 \times 10^{-3}$

- 13.41 $NO(g) + O_3(g) \longrightarrow NO_2(g) + O_2(g)$

tepkimesinin A frekans faktörü $8,7 \times 10^{12} s^{-1}$ ve eşik enerjisi 63 kJ/mol'dür. Tepkimenin 75 °C'deki hız sabiti nedir?

13.42 Birinci dereceden bir tepkimenin 350 °C'deki hız sabiti $4,60 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ dir. Bu tepkimenin eşik enerjisi 104 kJ/mol ise hız sabitinin $8,80 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ olduğu sıcaklığı bulunuz.

13.43 Bazı tepkimelerin hız sabiti sıcaklıktaki her 10 derecelik yükselmeye iki kat artmaktadır. Böyle bir tepkimenin 295 K ve 305 K'de yürüttüğünü varsayarak eşik enerjisini hesaplayınız.

13.44 Aşağıdaki birinci derece tepkimeyi ele alalım.



Tepkimenin frekans faktörü ve eşik enerjisi sırasıyla $3,98 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$ ve 161 kJ/mol olarak verildiğine göre 600 °C'deki hız sabitini hesaplayınız.

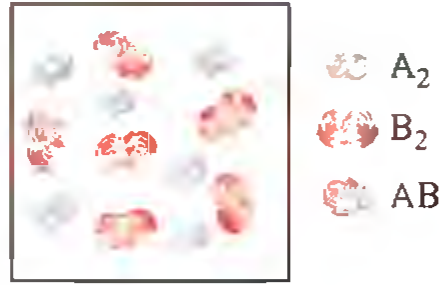
13.45 Aşağıdaki ikinci derece tepkimeyi ele alalım.



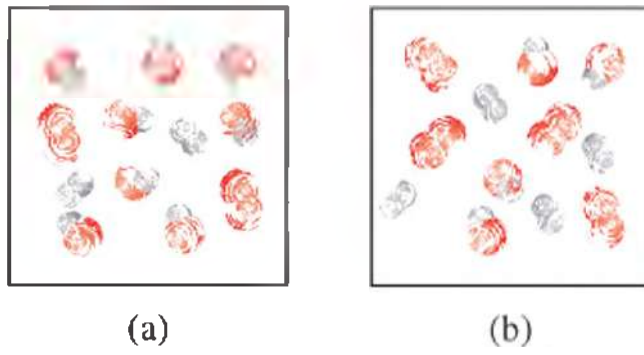
Tepkimenin frekans faktörü ve eşik enerjisi sırasıyla $4,0 \times 10^9 / \text{M}\cdot\text{s}$ ve 85 kJ/mol olarak verildiğine göre 500 °C'deki hız sabitini hesaplayınız.

13.46 Bir cırcır böceğinin cırlama hızı 27 °C'de $2,0 \times 10^2$ /dakika ve 5°C'de 39,6/dakikadır. Bu verilerden, cırlama için "eşik enerjisini" hesaplayınız. (İpucu: Hızların oranı hız sabitlerinin oranına eşittir.)

13.47 Aşağıda verilen şekilde " $\text{A}_2 + \text{B}_2 \longrightarrow 2\text{AB}$ " tepkimesinin başlangıç basamağı gösterilmektedir.



İki farklı sıcaklıkta yürüttüğü varsayılan tepkime ile ilgili iki şekil aşağıda verilmiştir. Hangi şekil yüksek sıcaklığı temsil etmektedir? (Tepkime her iki sıcaklıkta da aynı miktar için yürütülmektedir.)

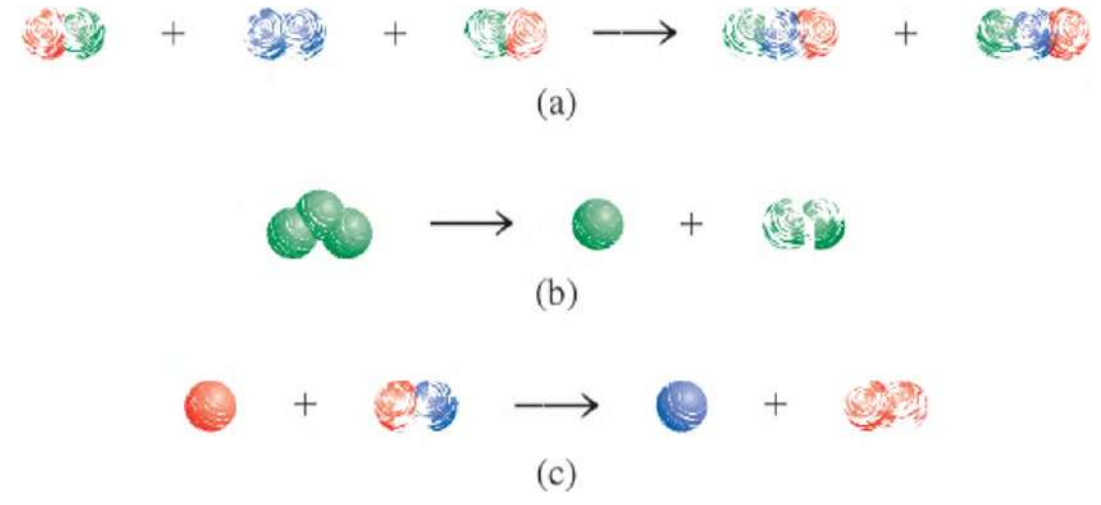


Tepkime Mekanizması

Tarama Soruları

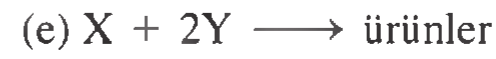
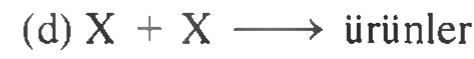
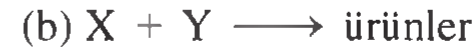
13.48 Tepkime mekanizması ne anlama gelir? Basit basamak ne demektir? Bir tepkimenin molekülerliği ne demektir?

13.49 Aşağıdaki basit basamakları; bir moleküllü, iki moleküllü veya üç moleküllü olarak sınıflandırınız.



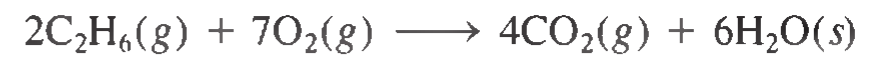
13.50 Tepkimeler bir moleküllü, iki moleküllü vs. gibi sınıflandırılır. Neden sıfır moleküllü tepkime yoktur? Üç moleküllü tepkimelerin neden nadiren olduğunu açıklayınız.

13.51 Aşağıdaki basit basamaklar için molekülerliği belirleyip hız yasasını yazınız.



13.52 Bir tepkimenin hız belirleyen basamağı ne demektir? "Hız belirleme" teriminin anlamını günlük hayattan bir örnekle açıklayınız.

13.53 Etanın (C_2H_6) yanma tepkimesi aşağıdaki eşitlikle verilir:

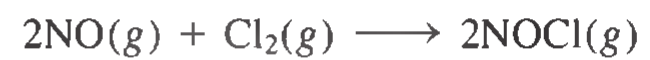


Bu eşitliğin neden basit basamak olamayacağını açıklayınız.

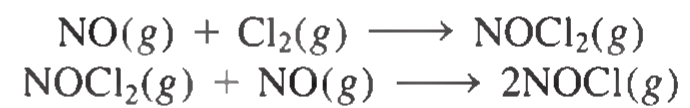
13.54 Şu türlerden hangisi tepkime ortamında saf olarak elde edilemez: aktifleşmiş kompleks, ürün, ara ürün?

Problemler

13.55 Aşağıdaki tepkimenin hız ifadesi, $\text{hız} = k [\text{NO}][\text{Cl}_2]$ şeklinde verilmektedir.



(a) Tepkime derecesi nedir? (b) Tepkime mekanizmasının şu basamaklar üzerinden yürüttüğü öngörülmektedir:



Eğer bu mekanizma doğru ise bu iki basamağın birbirlerine göre hızları hakkında ne düşünceniz?

13.56 $\text{X}_2 + \text{Y} + \text{Z} \longrightarrow \text{XY} + \text{XZ}$ tepkimesi için. X_2 derişiminin iki kat artması tepkimayı iki kat hızlandırmakta; Y derişiminin üç kat artırılması tepkime hızını üç kat arttırmakta. Z derişiminin iki kat artırılması

ise tepkime hızını etkilememektedir. (a) Bu tepkimenin hız ifadesi nedir? (b) Z derişimindeki değişim tepkime hızını neden etkilemez? (c) Bu tepkime için hız yasasına uygun bir mekanizma öneriniz.

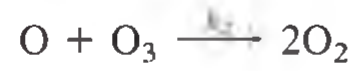
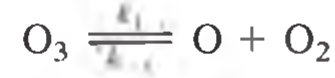
- 13.57 Ozonun oksijen molekülüne parçalanma tepkimesinin.



hız yasası,

$$\text{hız} = k \frac{[\text{O}_3]^2}{[\text{O}_2]} \text{ dir.}$$

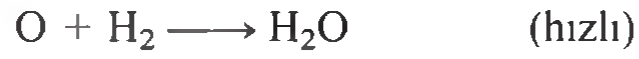
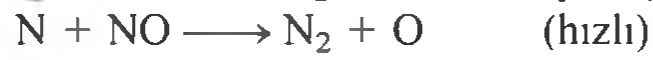
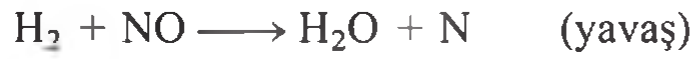
Bu tepkime için önerilen mekanizma şöyledir:



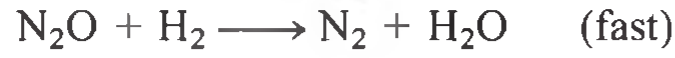
Bu basit basamaklardan yukarıdaki hız yasasını türetiniz. Türetmede hangi kabulleri kullandığınızı açıkça belirtiniz. Hızın O_2 derişiminin artması ile neden azalacağını açıklayınız.

- 13.58 $2\text{H}_2(g) + 2\text{NO}(g) \longrightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$ tepkimesinin hız yasası $\text{hız} = k[\text{H}_2][\text{NO}]^2$ olarak verilmektedir. Aşağıdaki mekanizmalardan hangisi gözlenen bu hız ifadesine uymaz?

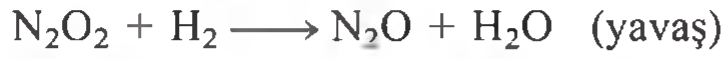
Mekanizma I



Mekanizma II



Mekanizma III



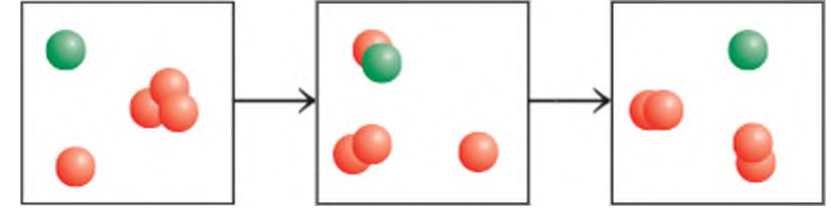
Kataliz

Tarama Soruları

- 13.59 Katalizör bir tepkimenin hızını nasıl artırır?
- 13.60 Bir katalizörün belirgin özellikleri nelerdir?
- 13.61 Bir tepkimenin oda sıcaklığında yavaş ilerlediği bilinmektedir. Bu tepkimenin hızını sıcaklığı değiştirmeden artırabilir miyiz?
- 13.62 Homojen ve heterojen kataliz arasındaki farkı belirtiniz? Heterojen katalizin kullanıldığı endüstriyel işlemlere üç önemli örnek veriniz.
- 13.63 Enzim-katalizlenmiş tepkimeler homojen katalize mi yoksa heterojen katalize mi örnektir?
- 13.64 Hücrelerde bulunan enzimlerin derişimleri genellikle çok küçüktür. Bu gerçeğin biyolojik önemi nedir?

Problemler

- 13.65 Aşağıda verilen şekil iki basamaklı bir mekanizmayı temsil etmektedir. (a) Her basamak ve toplam tepkime için eşitlikleri yazınız. (b) Ara ürün ve katalizörü belirleyiniz. Renk kodları A = yeşil ve B = kırmızı.



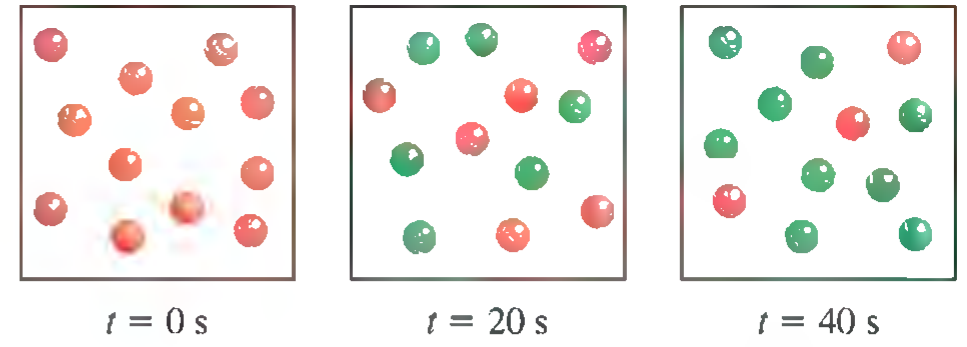
- 13.66 Enzim katalizli bir tepkime için aşağıdaki mekanizmayı varsayınız:



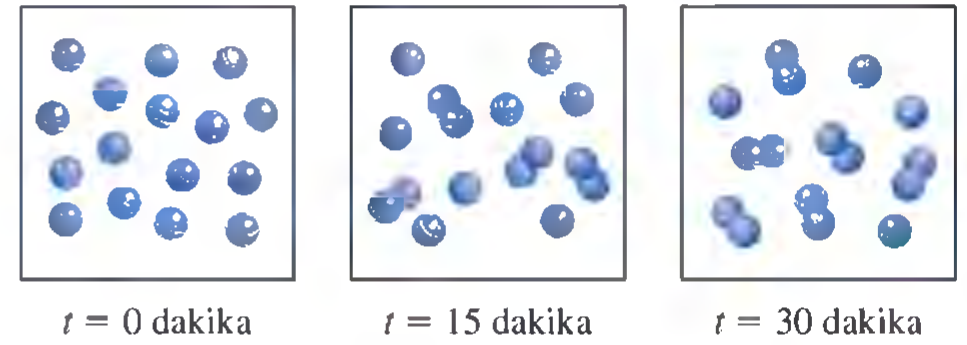
Tepkimenin hız yasası için E ve S'nin derişimleri cinsinden bir ifade türetiniz. (İpucu: [ES]'yi bulmak için, dengede ileri ve geri yöndeki tepkimelerin hızlarının birbirine eşit olduğu gerçeğinden yararlanınız.)

Ek Problemler

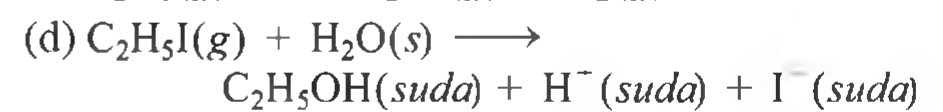
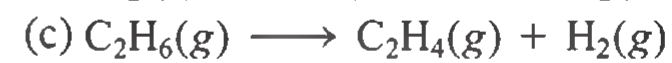
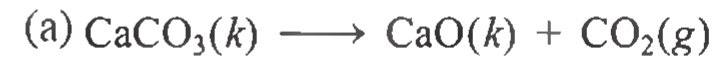
- 13.67 Aşağıdaki şekilde $\text{A} \longrightarrow \text{B}$ tepkimesinin yürüyüşü temsil edilmektedir. Kırmızı küreler A moleküllerini yeşil küreler ise B moleküllerini göstermektedir. Tepkimenin hız sabitini hesaplayınız.



- 13.68 Aşağıdaki şekilde $2\text{A} \longrightarrow \text{A}_2$ tepkimesinin yürüyüşü temsil edilmektedir. Tepkimenin birinci mi, yoksa ikinci dereceden mi olduğunu belirleyerek hız sabitini hesaplayınız.



- 13.69 Aşağıdaki tepkimelerin hızları deneysel olarak nasıl izlenebilir?



13.70 Tepkime hızını etkileyen dört etken sayınız.

13.71



“tepkimesinin hız sabiti $1.64 \times 10^{-6} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ dir” ifadesinde eksik olan nedir?

13.72 Heterojen katalizle yürüten endüstriyel bir işlemde katalizör hacmi (bir küre şeklinde) 10.0 cm^3 dir. Katalizörün yüzey alanını hesaplayınız. Eğer bu küre her birisi 1.25 cm^3 hacimlerdeki sekiz küreciğe parçalanırsa, küreciklerin toplam yüzey alanı ne olur? Katalizörün bu iki geometrik biçiminden hangisi daha etkindir? (yüzey alanı büyük olan mı yoksa küçük olan mı?). (Kürenin alanı $4\pi r^2$, r kürenin yarıçapıdır.) Buradaki yorumunuza dayanarak tahıl ambarlarında çalışmanın bazen neden tehlikeli olabileceğini açıklayınız.

13.73 Örnek 13.5'deki verileri kullanarak grafik yöntemiyle tepkimenin yarı ömrünü bulunuz.

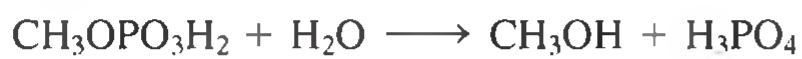
13.74 Hidrojen ile nitrik oksit arasındaki tepkimeden 700°C 'de aşağıdaki veriler elde edilmiştir



Deney	$[\text{H}_2]$	$[\text{NO}]$	Başlangıç hızı (M/s)
1	0,010	0,025	$2,4 \times 10^{-6}$
2	0,0050	0,025	$1,2 \times 10^{-6}$
3	0,010	0,0125	$0,60 \times 10^{-6}$

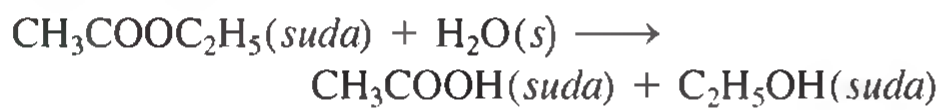
(a) Tepkime derecesini bulunuz. (b) Hız sabitini hesaplayınız. (c) Hız yasasına uygun bir mekanizma öneriniz. (İpucu: Oksijen atomunun ara ürün olduğunu varsayınız.)

13.75 Metil fosfat, asit çözeltisinde ısıtılırsa su ile tepkimeye girer:



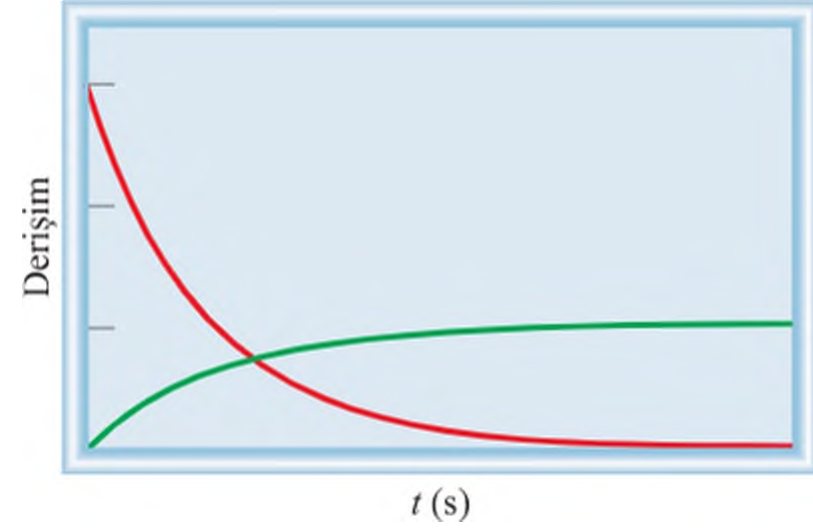
Eğer bu tepkime ^{18}O ile zenginleştirilmiş suda yürütülürse, oksijen-18 izotopu metanolde değil fosforik asit ürününde bulunur. Bu durum bize bağ kırılması hakkında ne söyler?

13.76 Aşağıdaki tepkime,



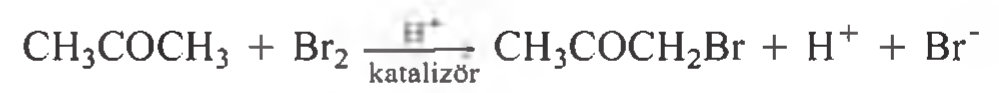
ikinci dereceden tepkime olmasına karşın $\{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5]\}$ 'e göre birinci dereceden ve H_2O 'ya göre birinci dereceden} birinci derece özelliklerini $\{\text{hız} = k[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5]\}$ göstermektedir. Açıklayınız.

13.77 Şekildeki grafiği en iyi ifade eden eşitlik aşağıdakilerden hangisidir? (a) $\text{A} \longrightarrow \text{B}$. (b) $\text{A} \longrightarrow 3\text{B}$. (c) $3\text{A} \longrightarrow \text{B}$?



13.78 $2\text{A} + 3\text{B} \longrightarrow \text{C}$ tepkimesi A ve B'ye göre birinci derecedendir. Başlangıç derişimleri $[\text{A}] = 1,6 \times 10^{-2} \text{ M}$ ve $[\text{B}] = 2,4 \times 10^{-3} \text{ M}$ olduğunda hız $4,1 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ 'dir. Tepkimenin hız sabitini hesaplayınız.

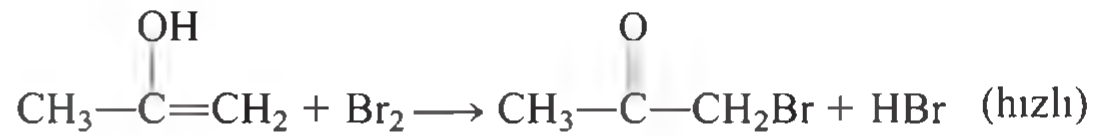
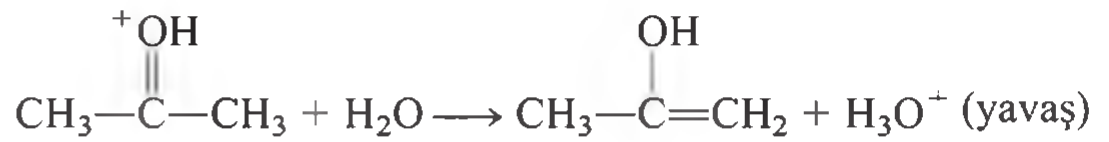
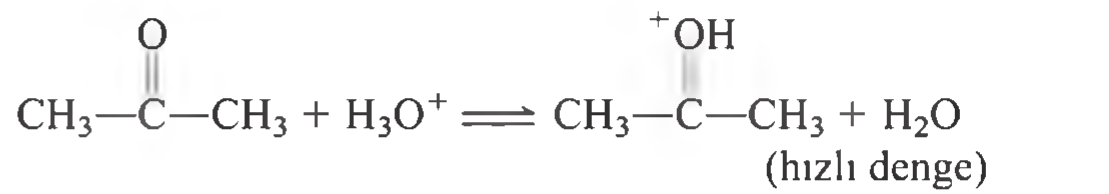
13.79 Asetonun asit-katalizlenmiş bromlanma tepkimesinde:



bromun belli bir sıcaklıktaki harcanma hızı aseton, brom ve H^+ iyonlarının farklı derişimleri için ölçülmüştür.

	$[\text{CH}_3\text{COCH}_3]$	$[\text{Br}_2]$	$[\text{H}^+]$	Br_2 'nin harcanma hızı (M/s)
(1)	0,30	0,050	0,050	$5,7 \times 10^{-5}$
(2)	0,30	0,10	0,050	$5,7 \times 10^{-5}$
(3)	0,30	0,050	0,10	$1,2 \times 10^{-4}$
(4)	0,40	0,050	0,20	$3,1 \times 10^{-4}$
(5)	0,40	0,050	0,050	$7,6 \times 10^{-5}$

(a) Tepkimenin hız yasası nedir? (b) Hız sabitini bulunuz. (c) Tepkime için aşağıdaki mekanizma önerilmiştir:



Mekanizmadan çıkarılan hız yasasının (a)'daki hız yasasına uyduğunu gösteriniz.

13.80 N_2O 'nun N_2 ve O_2 'ye parçalanma tepkimesi birinci derecedendir. Tepkimenin 730°C 'deki yarı ömrü $3,58 \times 10^3$ dakikadır. N_2O 'nun başlangıçtaki basıncı 730°C 'de 2,10 atm ise bir yarı ömrü sonundaki toplam gaz basıncını hesaplayınız. Hacmin sabit kaldığını varsayınız.

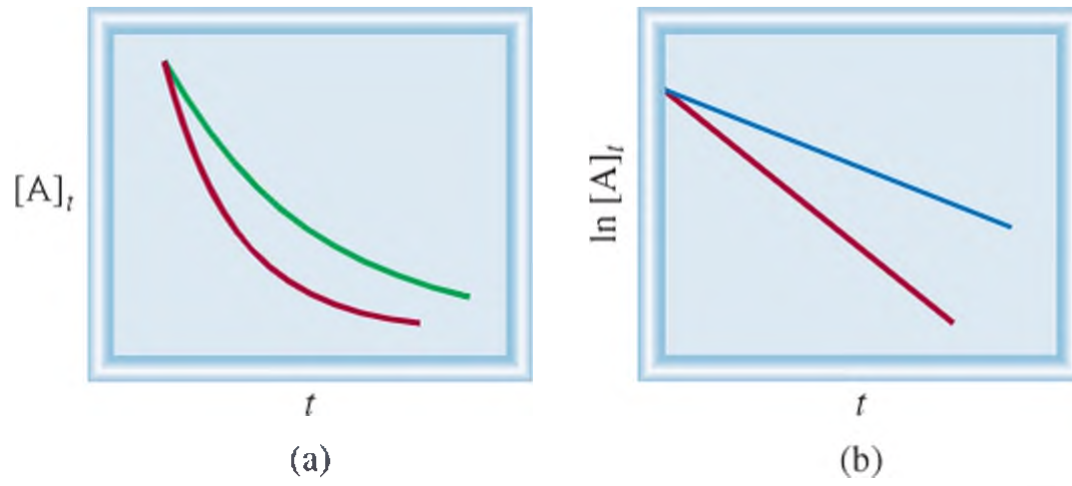
13.81 $S_2O_8^{2-} + 2I^- \longrightarrow 2SO_4^{2-} + I_2$ tepkimesi sulu çözeltide yavaş yürür. Ancak bu tepkime Fe^{3+} iyonu ile katalizlenebilir. Fe^{3+} iyonunun I^- iyonunu yükseltgeyebildiği, Fe^{2+} iyonunun da $S_2O_8^{2-}$ i indirgeyebildiği bilindiğine göre, bu tepkime için iki basamaklı bir mekanizma yazınız. Katalizlenmemiş tepkimenin neden yavaş yürüdüğünü açıklayınız.

13.82 Üçüncü dereceden tepkimelerin hız sabiti birimi nedir?

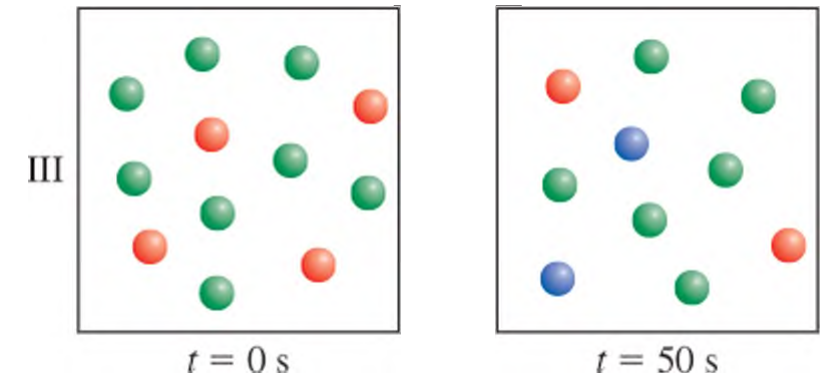
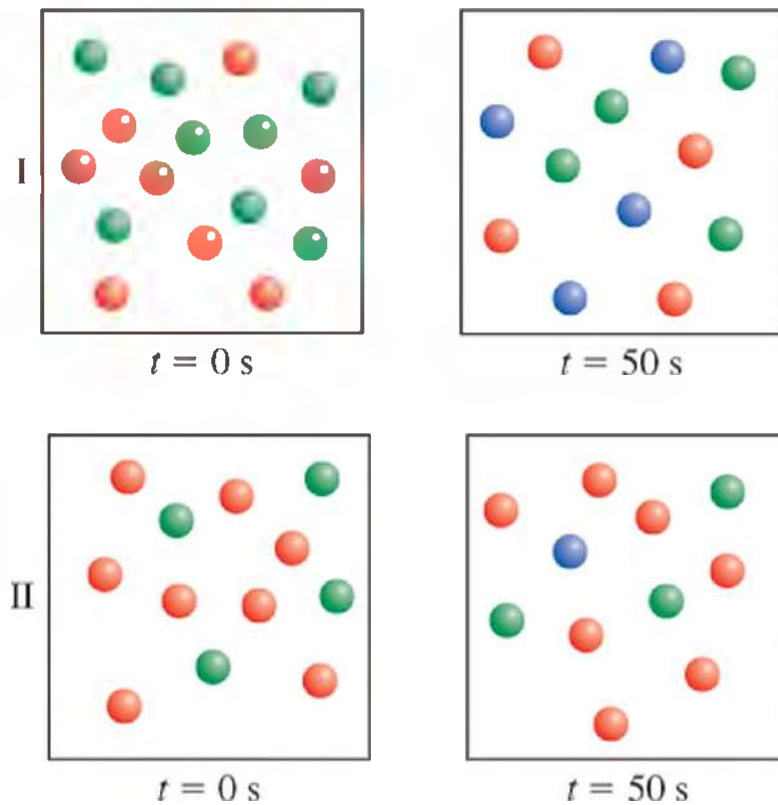
13.83 $A \longrightarrow B$ şekilde sıfırıncı dereceden bir tepkimenin integrali alınmış hız ifadesi $[A]_t = [A]_0 - kt$ 'dir. (a) Şu grafikleri çizin: (i) hıza karşı $[A]_t$ ve (ii) $[A]_t$ 'ya karşı t . (b) Tepkimenin yarı ömrü için bir ifade türetiniz. (c) İntegrali alınmış hız ifadesinin geçerli olmadığı $[A]_t = 0$ durumu için yarı ömrü hesaplayınız.

13.84 Bir şişede A ve B bileşiklerinin bir karışımı vardır. Her iki bileşik de birinci dereceden kinetikle bozunmaktadır. $[A]$ 'nın yarı ömrü 50,0 dakika, $[B]$ 'nin yarı ömrü ise 18,0 dakikadır. Eğer A ve B'nin başlangıç derişimleri birbirine eşitse, A'nın derişiminin B'nin derişiminin dört katı olması ne kadar zaman alır?

13.85 Aşağıdaki grafiklerde, aynı sıcaklıkta birinci dereceden yürüten iki tepkimenin zamana karşı tepken derişimleri gösterilmiştir. Her bir durumda hangi tepkime daha büyük hız sabitine sahiptir?



13.86 Aşağıda verilen diyagramlar, A'nın ve B'nin farklı başlangıç derişimleri için yürütülen " $A + B \longrightarrow C$ " tepkimesini temsil etmektedir. Tepkimenin hız yasasını belirleyiniz (Renk kodları A = kırmızı, B = yeşil ve C = mavidir.)



13.87 Örnek 13.5'e dayanarak, azometanın kısmi basıncının zamanla değişimini deneysel olarak nasıl ölçebileceğinizi açıklayınız.

13.88 $2NO_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ tepkimesinin hız ifadesi, $\text{hız} = k[NO_2]^2$ dir. Şu değişimlerden hangisi k 'nın değerini değiştirir? (a) NO_2 'nin basıncının iki kat artırılması. (b) Tepkimenin organik bir çözücitede yürütülmesi. (c) Kabın hacminin iki kat artırılması. (d) Sıcaklığın azaltılması (e) Kaba katalizör ilavesi.

13.89 G_2 ile E_2 'nin, $2EG$ oluşturduğu tepkimesi ekzotermik. G_2 ile X_2 'nin, $2XG$ oluşturduğu tepkime ise endotermiktir. Ekzotermik tepkimenin eşik enerjisi endotermik tepkimeninkine göre daha büyüktür. Bu iki tepkimenin potansiyel enerji profillerini aynı grafikte gösteriniz.

13.90 Nükleer endüstride çalışanlar şu kuralı bilirler: radyoaktif bir örnek ancak yaklaşık 10 yarı-ömrü sonra nispeten zararsız hale gelir. Radyoaktif bir örneğin bu süreden sonra arta kalan kesrini hesaplayınız. (İpucu: Radyoaktif bozunma, birinci derece kinetiğe uyar.)

13.91 Katalizörün aşağıda verilenlere etkisini yorumlayınız: (a) eşik enerjisi (b) tepkime mekanizması. (c) tepkime entalpisi, (d) ileri yöndeki hız. (e) ters yöndeki hız.

13.92 6 g öğütülmüş Zn, oda sıcaklığında bir beherdeki 2 M HCl çözeltisine konulduğunda hidrojen gazı açığa çıkar. Aşağıda verilen değişiklikler için (asit hacmi sabittir) hidrojen gazı çıkışı azalır mı, artar mı, değişmez mi, belirleyiniz: (a) 6 g öğütülmüş Zn kullanıldığında; (b) 4 g öğütülmüş Zn kullanıldığında; (c) 2 M HCl yerine 2 M asetik asit kullanıldığında; (d) sıcaklık 40°C 'ye yükseltildiğinde.

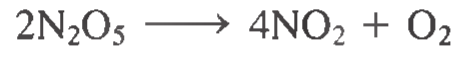
13.93 Problem 13.74'deki tepkime için türetilen hız yasası, $[H_2]$ 'nin sadece belirli derişimlerine uygulanır. Tepkimenin genel hız yasası

$$\text{hız} = \frac{k_1[NO]^2[H_2]}{1 + k_2[H_2]}$$

şeklini alır. Burada k_1 ve k_2 sabitlerdir. Çok yüksek ve çok düşük hidrojen derişimleri için hız yasası ifadesini türetiniz. Problem 13.74'tün sonucu buradaki ifadelerden birine uyar mı?

- 13.94** 25 °C’de yürüten birinci dereceden bir tepkimenin 4.90 dakikada yüzde 35,5’i tamamlanmaktadır. Hız sabiti nedir?

- 13.95 Diazot pentaoksitin (N_2O_5) parçalanması belli bir sıcaklıkta karbon tetraklorür (CCl_4) çözücüsünde incelenmiştir



$[N_2O_5]$	Başlangıç Hızı (M/s)
0,92	$0,95 \times 10^{-5}$
1,23	$1,20 \times 10^{-5}$
1,79	$1,93 \times 10^{-5}$
2,00	$2,10 \times 10^{-5}$
2,21	$2,26 \times 10^{-5}$

Tepkimenin hız yasasını grafik yöntemiyle bulup, hız sabitini hesaplayınız.

- 13.96** N_2O_5 ’in ısıl bozunması birinci dereceden kinetiğe uyar. 45 °C’de t ’ye karşı $\ln[N_2O_5]$ grafiğinden elde edilen doğrunun eğimi $-6,18 \times 10^{-4}$ dakika⁻¹ dir. Tepkimenin yarı ömrü nedir?

- 13.97 Metan ve brom karışımı güneş ışığında yavaşça tepkimeye girer:

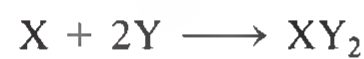


Butepkime için uygun bir mekanizma öneriniz. (İpucu: Brom buharı koyu kırmızıdır; metan gazı renksizdir.)

- 13.98** H_2 ile I_2 arasındaki tepkimenin hızı (s.598’de ele alınmıştı) görünür ışıkla hızla artar. (a) Bu gerçeğin verilen iki basamaklı mekanizmayı neden desteklediğini açıklayınız (I_2 buharının rengi s.504’de verilmişti). (b) Görünür ışığın H atomları oluşumuna neden bir etkisi olmadığını açıklayınız.

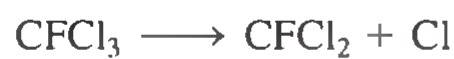
- 13.99 Genç bir ağaçtan alınan örnekteki karbon-14’ün bozunma hızı saniyede gram başına 0.26 bozunmadır. Arkeolojik bir kazıdan elde edilen diğer bir tahta objenin bozunma hızı ise saniyede gram başına 0.186’dır. Bu objenin yaşı kaçtır? (İpucu: Sayfa 588’deki “Kimya İşbaşında” adlı okuma parçasına bakınız.)

- 13.100** Aşağıdaki basit basamağı göz önüne alarak:



(a) Bu tepkimenin hız ifadesini yazınız. (b) Eğer XY_2 ’nin başlangıç oluşma hızı $3,8 \times 10^{23} M/s$; X ve Y’nin başlangıç derişimleri sırasıyla 0.26 M ve 0.88 M ise tepkime hız sabiti nedir?

- 13.101 Son yıllarda stratosferdeki ozon tabakası kloroflorokarbonlardan (CFC) dolayı hızla incelmektedir. Örneğin bir CFC bileşiği olan $CFCl_3$ önce UV ışını ile parçalanır:

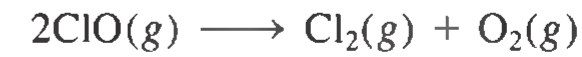


Klor radikali daha sonra ozonla aşağıdaki gibi, tepkimeye girer:



O atomları O_2 ’nin fotokimyasal parçalanmasından gelir. (a) Son iki basamak için net tepkimeyi yazınız. (b) Cl ve ClO’nun rolleri nedir? (c) Bu mekanizmada neden flor radikali önemli değildir? (d) Klor radikalının derişimini düşürmek üzere etan (C_2H_6) gibi bir hidrokarbonun stratosfere verilmesi önerilmektedir. Bu ne işe yarar? (e) Ozonun yok olmasının katalizsiz ve katalizli (Cl ile) tepkimelerle yürüttüğü durumlar için potansiyel enerji değişimlerini grafiğe alınız: $O_3 + O \longrightarrow 2O_2$. Tepkimenin ekzotermik mi yoksa endotermik mi olduğunu belirlemek için Ek 3’deki verilerden yararlanınız.

- 13.102** Ozonun tükenmesinde (bak. Problem 13.101) önemli rol alan klor oksit (ClO), oda sıcaklığında aşağıdaki tepkimeye göre hızla yok olur:



Aşağıdaki verilerden tepkime derecesini ve tepkime hız sabitini hesaplayınız.

Zaman (s)	$[ClO] (M)$
$0,12 \times 10^{-3}$	$8,49 \times 10^{-6}$
$0,96 \times 10^{-3}$	$7,10 \times 10^{-6}$
$2,24 \times 10^{-3}$	$5,79 \times 10^{-6}$
$3,20 \times 10^{-3}$	$5,20 \times 10^{-6}$
$4,00 \times 10^{-3}$	$4,77 \times 10^{-6}$

- 13.103 Bir X bileşiği, birinci dereceden *iki eş zamanlı* tepkime ile şöyle harcanır: birincisi “ $X \longrightarrow Y$ ” olup, hız sabiti k_1 ve diğeri “ $X \longrightarrow Z$ ” olup, hız sabiti k_2 ’dir. k_1/k_2 oranı 40 °C’de 8.0’dır. 300 °C’deki bu oran nedir? Her iki tepkimenin frekans faktörlerinin aynı olduğunu varsayınız.

- 13.104** Katalitik dönüştürücü bir araba düşününüz. En çok kirlilik ilk 5 dakika civarında ortaya çıkmaktadır. Neden?

- 13.105 Aşağıdaki taslakta verilen A’nın önce B’ye, sonra da B’nin C’ye dönüşümü ardışık tepkime olarak bilinmektedir.



İki basamağın da birinci dereceden olduğunu varsayarak, aynı grafikte $[A]$, $[B]$ ve $[C]$ ’nin zamanla değişimini gösteriniz.

- 13.106** Hidrojen ve iyot monoklorür şöyle tepkimeye girer:



Tepkimenin hız yasası hız = $k [H_2][ICl]$ ’dir. Tepkime için uygun bir mekanizma öneriniz.

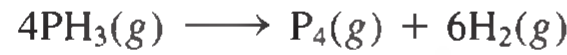
13.107 Aşağıdaki



tepkimesinin hız yasası, $\text{hız} = k[\text{NO}_2]^2$ dir. Tepkimede kararsız bir NO_3 ara ürünü oluştuğuna göre, tepkime için uygun bir mekanizma öneriniz.

13.108 Radyoaktif plutonyum-239 ($t_{1/2} = 2.44 \times 10^5$ yıl) nükleer reaktörler ve atom bombasında kullanılır. Küçük bir atom bombasında, bu izotoptan 5.0×10^2 g varsa, verimli bir bomba için çok az bir miktar olan 1.0×10^2 g'a inmesi ne kadar zaman alır?

13.109 Heterojen katalizörün katıldığı pek çok tepkime sıfırıncı derecedendir; $\text{hız} = k$ 'dir. Buna bir örnek, fosfinin (PH_3) tungsten (W) üzerinde parçalanmasıdır.



Yeteri kadar yüksek basınçlarda (≥ 1 atm) tepkimenin hem $[\text{PH}_3]$ 'den hem de fosfin basıncından bağımsız olduğu bulunmuştur. Açıklayınız.

13.110 Talyum(I), seryum (IV) ile aşağıdaki gibi yükseltgenir:

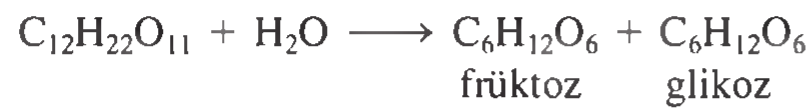


Mn(II) varlığında tepkimenin basit basamakları şöyledir:



(a) Hız ifadesi, $\text{hız} = k[\text{Ce}^{4+}][\text{Mn}^{2+}]$ şeklinde veriliyorsa katalizör, ara ürün ve hız belirleyen basamağı belirleyiniz. (b) Tepkimenin katalizörsüz neden yavaş yürüyeceğini açıklayınız. (c) Kataliz türünü belirleyiniz (homojen veya heterojen).

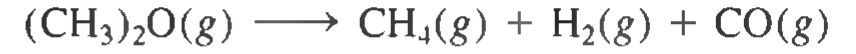
13.111 Yaygın biçimde çay şekeri olarak adlandırılan sakkoroz ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) hidroliz (su ile tepkime) yoluyla früktoz ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ve glikoza ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dönüştür:



Bu tepkime şekerleme endüstrisi için çok önemlidir. Çünkü ilk olarak früktoz sakkarozu göre çok daha tatlıdır. İkinci olarak da *invert şeker* olarak adlandırılan früktoz ve glikoz karışımı kristalleşmez ve bu nedenle bu şekeri içeren şekerlemeler çözünebilirken, sakkoroz içeren şekerlemeler kırılmalıdır. (a) Aşağıdaki verilerden tepkime derecesini bulunuz. (b) Sakkorozun yüzde 95'inin hidroliz olması ne kadar zaman alır? (c) Su bir tepken olmasına karşın hız yasasında $[\text{H}_2\text{O}]$ neden yer almaz?

Zaman (dakika) $[\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]$	
0	0,500
60,0	0,400
96,4	0,350
157,5	0,280

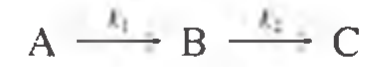
13.112 Dimetil eterin birinci dereceden bozunma tepkimesinin hız sabiti 450°C 'de $3.2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ dir.



Tepkime sabit hacimde yürütülmektedir. Başlangıçta sadece dimetil eter varken basınç 0.350 atm'dir. 8.0 dakika sonra sistemin basıncı nedir? Gazların ideal davrandığını varsayınız.

13.113 Ozonun tükenme tepkimesinin, $\text{O}(g) + \text{O}_3(g) \longrightarrow 2\text{O}_2(g)$ hız sabiti 25°C 'de $7.9 \times 10^{15} \text{ cm}^3/\text{molekül} \cdot \text{s}$ 'dir. Hız sabitinin birimini $1/M$ -s cinsinden ifade ediniz.

13.114 Aşağıdaki ardışık tepkimenin basit basamaklarını ele alarak

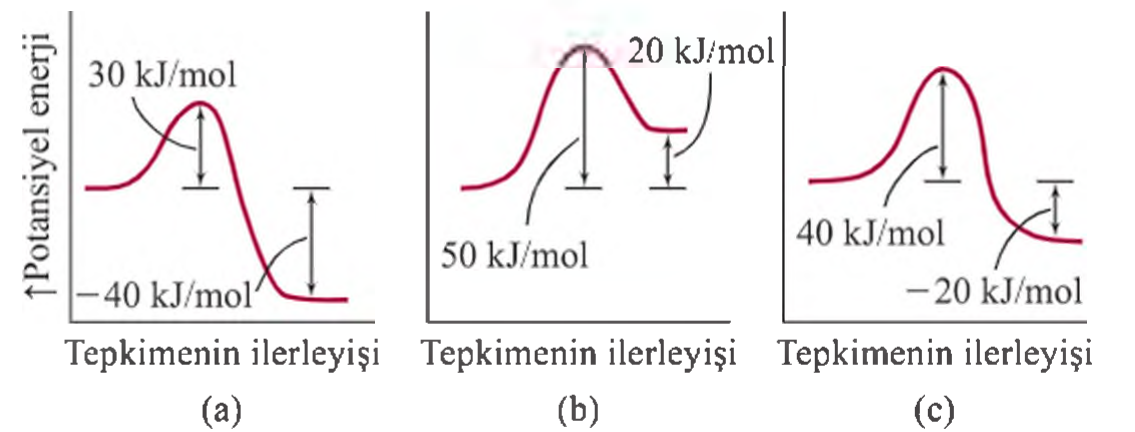


(a) B'nin değişimi için hız ifadesini yazınız. (b) Kararlı hal koşullarında B'nin derişimi için bir ifade türetiniz. Bu halde, B'nin C'ye bozunma hızı ile A'dan oluşturma hızı aynıdır.

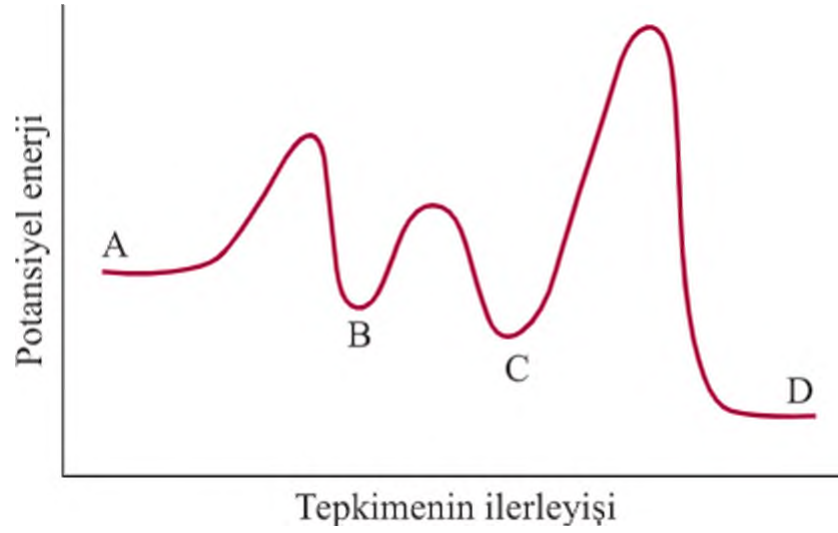
13.115 Etanol zehirli bir maddedir. Fazla miktarda alındığında sinir sistemi aracılığıyla solunum ve kalp sistemini olumsuz yönde etkiler. Etanol insan vücudunda, alkol dehidrojenaz enzimi ile metabolize edilerek "sersemlik" veren asetaldehite dönüştür. (a) Enzim kinetiği bilgilerinize dayanarak aşırı alkol alımının (çok fazla ve çok hızlı) neden öldürücü olabileceğini açıklayınız. (b) Metanol etanole göre çok daha fazla zehirlidir. O da alkol dehidrojenaz tarafından metabolize edilir. Bundan oluşan ürün, formaldehit körlüğe ve hatta ölüme yol açabilir. Metanol zehirlenmesinin panzehiri etanoldür. Bu sürecin nasıl işlediğini açıklayınız.

13.116 Radyoaktif bir izotop olan stronsiyum-90 atom bombasının patlamasında temel bir üründür. Yarı ömrü 28.1 yıldır. (a) Nükleer bozunma için birinci dereceden hız sabitini hesaplayınız. (b) 10 yarı ömür geçtikten sonra ^{90}Sr 'ın kalan kesrini hesaplayınız. (c) ^{90}Sr 'ın yüzde 99.0 'nın yok olması için kaç yıl gerektiğini bulunuz.

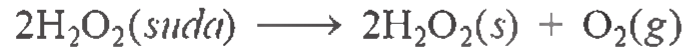
13.117 Aşağıda üç farklı tepkimenin potansiyel enerji profilleri verilmiştir (soldan sağa doğru). (1) Tepkime hızlarını (en yavaştan en hızlıya) sıralayınız. (2) Her tepkimenin ΔH değerini hesaplayarak, hangi tepkimelerin ekzotermik, hangilerinin endotermik olduğunu bulunuz. Tepkimelerin frekans faktörlerinin eşit olduğunu kabul ediniz.



- 13.118** $A \longrightarrow D$ tepkimesinin potansiyel enerji profili aşağıdaki gibidir. (a) Kaç tane basit basamak vardır? (b) Kaç tane ara ürün oluşur? (c) Hangi basamak hız belirleyicidir? (d) Toplam net tepkime ekzotermik mi yoksa endotermik midir?



- 13.119 Titanyum gibi geçiş elementlerini arıyan bir fabrikada yangın çıkmıştır. Uzmanlar yangına suyla müdahale edilmemesini önermişlerdir. Neden?
- 13.120** Hidrojen peroksitin parçalanma tepkimesinin eşik enerjisi 42 kJ/mol'dür.



Oysa, bu tepkimede katalaz enzimi katalizör olarak kullanıldığında eşik enerjisi 7.0 kJ/mol olur. Katalizörsüz tepkimenin hızının enzim katalizli tepkimenin 20 °C'deki hızına eşit bir hızda yürüyebilmesi için, sıcaklık ne olmalıdır? Her iki durumda da A frekans faktörünün aynı olduğunu kabul ediniz.

- 13.121 Radyoaktif bir örneğin *aktifliği*, saniyedeki bozunma sayısıdır. Bu da birinci dereceden hız sabiti ile mevcut radyoaktif çekirdek sayısının çarpımına eşittir. Radyoaktivitenin temel birimi *curie* (Ci)'dir. 1 Ci, saniyede tam olarak 3.70×10^{10} bozunmadır. Bu bozunma hızı 1 g radyum-226'ya eşdeğerdir. Radyum bozunmasının hız sabitini ve yarı ömrünü hesaplayınız. 1.0 g radyum örneği ile başlarsak 500 yıl sonraki aktiflik ne olur? Ra-226'nın mol kütlesi 226.03 g/mol'dür.

- 13.122** Metabolizmanın çalışabilmesi için hemoglobin (Hb) tarafından alınan oksijen, oksihemoglobine (HbO_2) aşağıdaki basitleştirilmiş eşitliğe göre dönüştürülür:

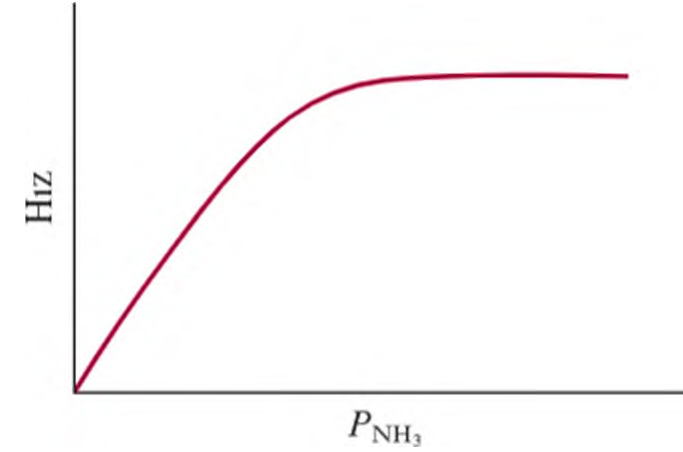


Bu tepkimenin 37 °C'de ikinci dereceden hız sabiti $2.1 \times 10^6 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 'dir (Bu tepkime Hb ve O_2 'ye göre birinci derecedendir). Ortalama bir yetişkinin akciğerlerindeki kanda bulunan Hb ve O_2 derişimleri sırasıyla $8.0 \times 10^{-6} \text{ M}$ ve $1.5 \times 10^{-6} \text{ M}$ 'dir. (a) HbO_2 'nin oluşma hızını hesaplayınız. (b) O_2 'nin harcanma hızını hesaplayınız. (c) Egzersiz sırasında metabolizmanın ihtiyacını karşılamak üzere HbO_2 'nin oluşma hızı $1.4 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ 'e yükselir. Hb derişiminin aynı kaldığını varsayarsak, HbO_2 'nin bu hızda oluşmasını sağlayacak oksijen derişimi ne olmalıdır?

- 13.123 Sıcaklık belli bir dereceye yükseltildiğinde amonyak tungsten metal yüzeyinde aşağıdaki gibi parçalanır:



Aşağıdaki NH_3 basıncına karşı tepkime hızı grafiğinden tepkimenin mekanizmasını açıklayınız.



- 13.124** Aşağıdaki ifade bir tepkimede başlangıç tepken derişimi $[\text{A}]_0$ ile tepkime yarı ömrü arasındaki ilişkiyi vermektedir:

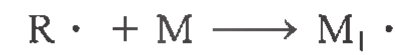
$$t_{1/2} \propto \frac{1}{[\text{A}]_0^{n-1}}$$

Burada n tepkimenin derecesidir. Sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden tepkimeler için bu ilişkiyi doğrulayınız.

- 13.125 Polietilen su boruları, şişe, elektrik yalıtımı, oyuncak gibi pek çok malzemenin yapımında kullanılır. Polietilen, çok sayıda etilen molekülünün birleşmesinden ortaya çıkan yüksek mol kütleli bir *polimer*-dir (Polietilenin temel birimi veya monomeri etilendir). Bu tepkimenin ilk basamağı şöyledir:



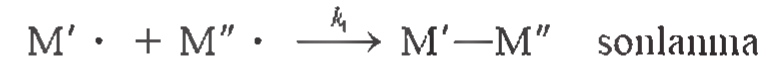
$\text{R} \cdot$ türleri (radikal olarak adlandırılır) etilen molekülü (M) ile tepkimeye girerek başka bir radikal oluşturur:



$\text{M}_1 \cdot$ radikalının bir başka monomerle tepkimesi polimer zincirinin büyümesine yol açar:



Bu basamak yüzlerce monomer birimiyle tekrarlanabilir. İki radikalın birleşmesiyle büyüme sonlanır.



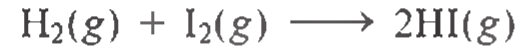
Etilenin polimerleşmesinde sıklıkla kullanılan başlatıcı benzoil peroksittir $[(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO})_2]$:



Bu tepkime birinci derecedendir. Benzoil peroksitin 100 °C'deki yarı ömrü 19.8 dakikadır. (a) Tepkimenin hız sabitini hesaplayınız (dakika⁻¹ olarak). (b) Benzoil peroksitin 70 °C'deki yarı ömrü 7.30 saat veya 438 dakika ise bu parçalanma tepkimesinin eşik enerjisi

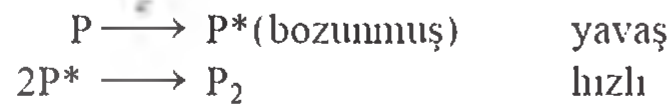
nedir? (kJ/mol olarak) (c) Yukarıda verilen polimerleşme işlemindeki basit basamakların hız yasalarını yazarak tepkenleri, ürünleri ve ara ürünleri belirleyiniz. (d) Uzun zincirli ve yüksek molekül kütleli polietilenin oluşumunu hangi koşul sağlar.

- 13.126** Aşağıda verilen gaz fazı tepkimesinin 400 °C'deki hız sabiti $2,42 \times 10^{-2} / \text{M} \cdot \text{s}$ 'dir.



Başlangıçta 400 °C'deki bir kaba eş-molar H_2 ve I_2 örneği konulduğunda toplam basınç 1658 mmHg'dır. (a) HI'nın başlangıç oluşma hızı (M/dakika) nedir? (b) 10,0 dakika sonra HI'nın oluşma hızı ve derişimi (molarite olarak) nedir?

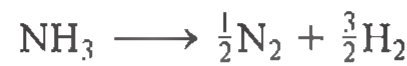
- 13.127** Mol kütleli M olan bir P protein molekülü, oda sıcaklığında bir çözeltiye bırakılırsa dimerleşir. Protein molekülünün dimerleşmeden önce bozunmasına (genel yapısındaki aktifliğinin kaybolmasına yol açan değişiklikler) ait uygun bir mekanizma şöyledir:



Burada yıldız işareti bozunmuş protein molekülünü temsil etmektedir. P ve P_2 'nin ortalama mol kütlelerini (\bar{M}), başlangıç protein derişimi $[\text{P}]_0$ ve t anındaki derişimi $[\text{P}]_t$ ile \bar{M} cinsinden türetiniz. Mol kütle ölçümlerinden k 'yı nasıl tayin edebileceğinizi açıklayınız.

- 13.128** 25 °C'de " $\text{A} \longrightarrow \text{B}$ " tepkimesinde A'nın derişimi 1,20 M'dan 0,60 M'a değiştiğinde, yarı ömür 2,0 dakikadan 4,0 dakikaya artmaktadır. Tepkime derecesini ve hız sabitini hesaplayınız. (İpucu: Problem 13.124'deki eşitliği kullanınız).

- 13.129** Sıcaklık belli bir dereceye yükseltildiğinde amonyak tungsten metal yüzeyinde aşağıdaki gibi parçalanır:

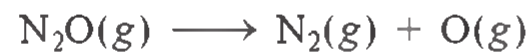


Kinetik veriler NH_3 'ün başlangıç basıncı ile yarılanma ömründeki değişimi şöyle ifade etmiştir:

P (mmHg)	264	130	59	16
$t_{1/2}$ (s)	456	228	102	60

(a) Tepkimenin derecesini belirleyiniz. (b) Derece başlangıç basıncına nasıl bağlıdır? (c) Tepkime mekanizması basınçla nasıl değişir? (İpucu: Problem 13.124'deki eşitliği ve " $\log t_{1/2} - \log P$ " grafiğini kullanmanız gerekir.)

- 13.130** Aşağıdaki tepkimenin 600 K'deki eşik enerjisi $2,4 \times 10^2$ kJ/mol'dür.

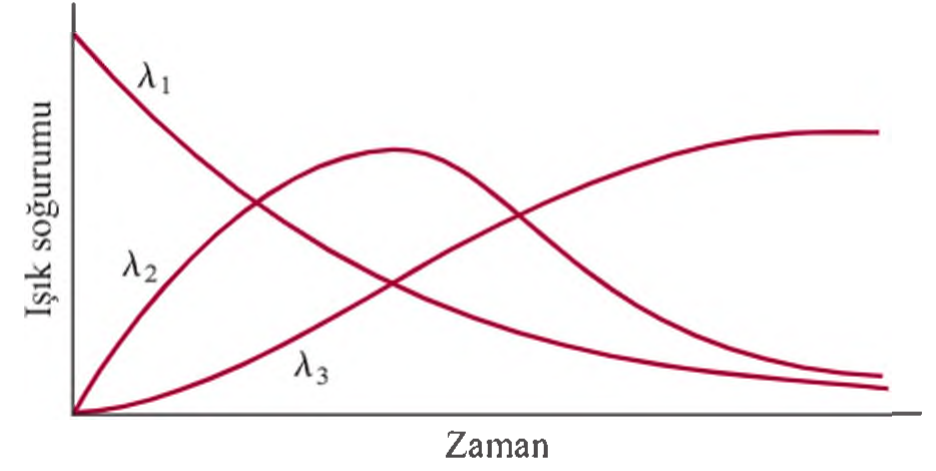


Sıcaklık 600 K'den 606 K'e çıktığı zaman hızdaki yüzde artışı hesaplayınız. Sonucunuzu yorumlayınız.

- 13.131** Bir tepkimenin hızı, zaman ilerledikçe, dalga boylarının ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) bir fonksiyonu olarak tepken ve

ürünlerin ışığı soğurma miktarlarına göre takip edilmiştir. Aşağıdaki mekanizmalardan hangisi deneysel verilere uymaktadır?

- (a) $\text{A} \longrightarrow \text{B}, \text{A} \longrightarrow \text{C}$
 (b) $\text{A} \longrightarrow \text{B} + \text{C}$
 (c) $\text{A} \longrightarrow \text{B}, \text{B} \longrightarrow \text{C} + \text{D}$
 (d) $\text{A} \longrightarrow \text{B}, \text{B} \longrightarrow \text{C}$



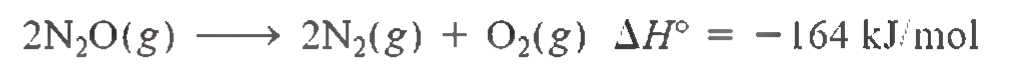
- 13.132** CH_3 parçaları, C_2H_6 molekülleri ve soy gaz (He) içeren bir gaz karışımı 600 K'de toplam basınç 5,42 atm olacak şekilde hazırlanmıştır. Aşağıdaki basit tepkimenin



ikinci dereceden hız sabiti $3,0 \times 10^4 / \text{M} \cdot \text{s}$ 'dir. CH_3 ve C_2H_6 'n mol kesirleri sırasıyla 0,00093 ve 0,00077 olarak verildiğinde tepkimenin bu sıcaklıktaki başlangıç hızını hesaplayınız.

- 13.133** Kalp krizi geçiren birisinde beyin hasarını önlemek için uygulanan sert bir tıbbi müdahale vücut sıcaklığını düşürmektir. Bu tedavinin fizyokimyasal temeli nedir?

- 13.134** Aşağıdaki tepkimenin eşik enerjisi (E_a) 240 kJ/mol'dür.



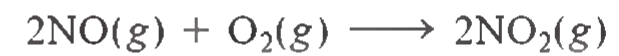
Ters yöndeki tepkimenin E_a değeri nedir?

- 13.135** Organik bir bileşiğin çözeltide birinci dereceden bozunmasına ait hız sabitleri çeşitli sıcaklıklarda ölçülmüştür:

k (s^{-1})	0,00492	0,0216	0,0950	0,326	1,15
T (K)	278	288	298	308	318

Tepkimenin eşik enerjisini ve frekans faktörünü grafik yöntemi ile bulunuz.

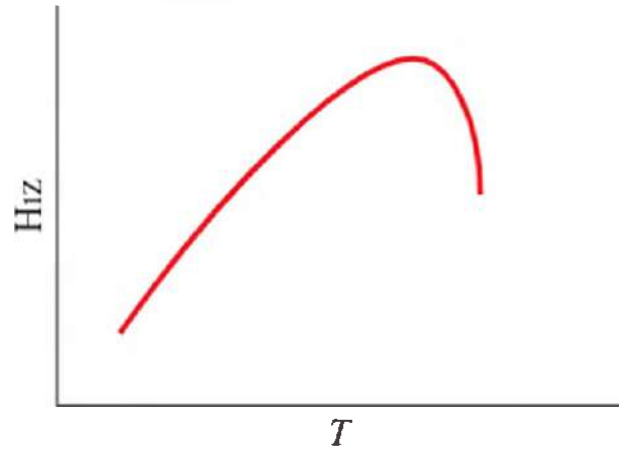
- 13.136** Azot dioksidin oluşumu için aşağıdaki basit tepkimeyi ele alınız:



(a) Bu tepkime için hız yasasını yazınız. (b) Bir hava örneği, belirli bir sıcaklıkta hacimce 2,0 ppm NO ile kirlenmektedir. Bu koşullar altında hız yasası basitleşebilir mi? Eğer öyleyse basitleştirilmiş hız yasasını yazınız. (c) (b)'de tanımlanan koşullarda tepkimenin yarı ömrü $6,4 \times 10^3$ dakika olarak tahmin edilmektedir. NO'nun başlangıç derişimi 10 ppm olsaydı yarı ömür ne olurdu?

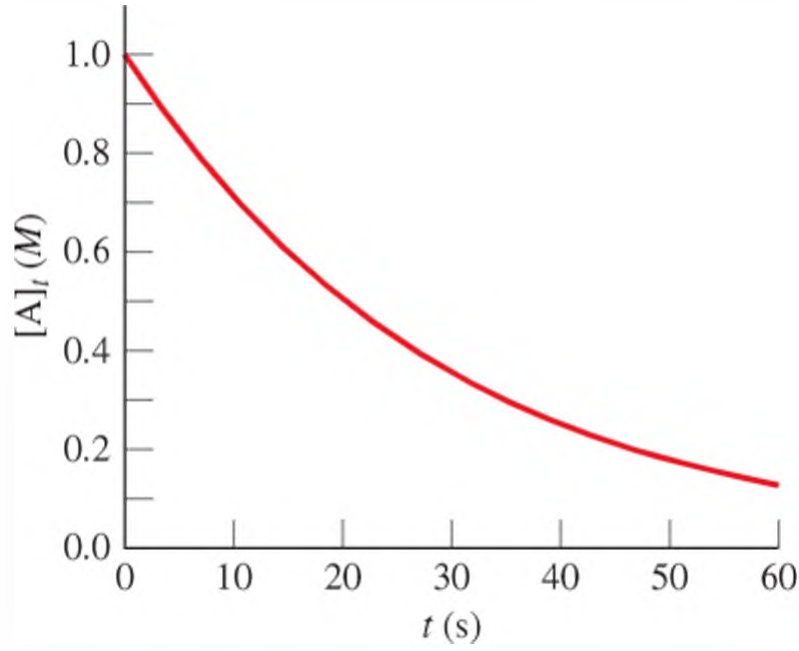
Yorumlama, Modelleme ve Tahmin

- 13.137 Bir öğretimi elemanı derste termit tepkimesini (bak.s.259) göstermektedir. Alüminyum ile demir (III) oksidi bir metal kovada karıştırıp bir kalıp buzun üzerine koyar. Bu aşırı ekzotermik tepkime başladıktan hemen sonra termit tepkimesine uymayan büyük bir patlama olur. Bu beklenmedik ses etkisi için uygun kimyasal bir açıklama veriniz. Kova havaya açıktır.
- 13.138 Enzim katalizli bir tepkimenin sıcaklığa karşı hız değişimi aşağıda gösterilmiştir.

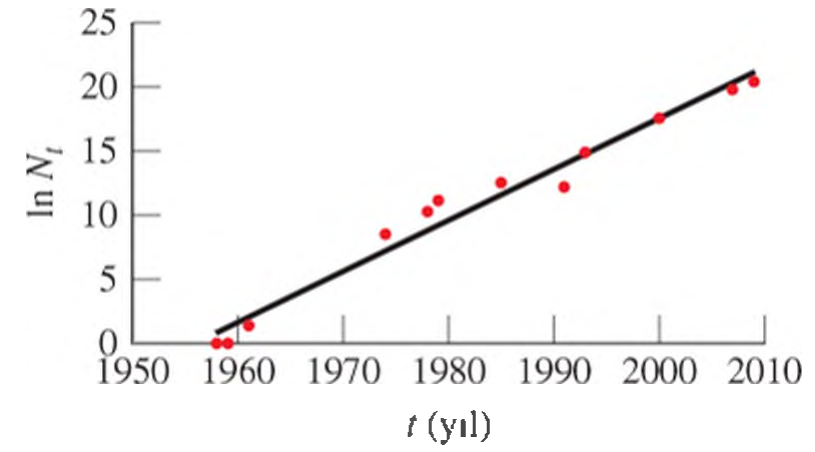


İnsan vücudunda en yüksek hızı verecek sıcaklık yaklaşık kaçtır?

- 13.139 Sıcaklıktaki değişimlere karşı bir tepkimenin hız sabiti (k), E_a küçük olduğunda mı yoksa büyük olduğunda mı daha hassastır?
- 13.140 “A → ürünler” şeklindeki bir tepkime için t 'ye karşı $[A]_t$ grafiği aşağıda verilmektedir. (a) Tepkimenin derecesini ve hız sabitini bulunuz. (b) Başlangıç hızını ve 30 s'deki hızı bulunuz.



- 13.141 Karbon-14 yaş tayini ile tahmin edilebilecek en kısa ve en uzun zaman ne kadardır (yıl olarak)?
- 13.142 Kimyasal ve biyolojik sistemlere ilave olarak kinetik işlemler, bazen teknolojinin gelişimi gibi sosyolojik olaylara da uygulanabilir. Örneğin, 1965'de Intel'in mucitlerinden Gordon Moore, entegre devrelerdeki transistor sayısının (N) her 1,5 yılda ikiye katlanarak artma eğilimini açıklamıştı. Şimdilerde *Moore yasası* olarak adlandırılan bu öngörü birkaç on yıl içinde gerçekleşti. Yıllara karşı $\ln N$ grafiği aşağıda gösterilmektedir. (a) Entegre devrelerdeki transistor sayısının artış hız sabitini belirleyiniz. (b) Hız sabitine dayanarak N 'nin ikiye katlanması ne kadar zaman alır? (c) Moore yasası bu yüzyılın sonuna kadar devam ederse 2100 yılında entegre devrelerdeki transistor sayısı ne olur? Sonucunuzu yorumlayınız.



Alıştırmaların Cevapları

13.1

$$\text{hız} = -\frac{\Delta[\text{CH}_4]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{CO}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t}$$

13.2 (a) 0.013 M/s. (b) -0.052 M/s. 13.3 hız = $k[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}][\text{I}^-]$; $k = 8.1 \times 10^{-2}/\text{M} \cdot \text{s}$. 13.4 66 s.

13.5 Birinci dereceden. 1.4×10^{-2} dakika⁻¹.

13.6 1.2×10^3 s. 13.7 (a) 3.2 dakika. (b) 2.1 dakika. 13.8 240 kJ/mol. 13.9 3.13×10^{-9} s⁻¹. 13.10 (a) $\text{NO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{NO} + \text{CO}_2$. (b) NO_3 . (c) Hız belirleyen basamak birinci basamaktır.